Revista Brasileira de

ASTRONOMIA

Produzida pela Sociedade Astronômica Brasileira

Ano 1 | Número 1

Fique por dentro do BURACO NEGRO

ESPECIAL: como ensinamos as estações

Nossa Galáxia: a Via Láctea | Astronomia na Escola

Editorial

Desde o Iluminismo, nos séculos XVII e XVIII, com suas idéias liberais, o uso da razão, da ciência e do humanismo tem sido o pilar fundamental para o espetacular desenvolvimento da humanidade nos últimos três séculos. John Locke, o "pai do Iluminismo", defendeu a razão, a liberdade dos cidadãos e se colocou contra o absolutismo. Seus ideais estão no alicerce da sociedade moderna, em plena segunda década do terceiro milênio, por mais que tenhamos momentos de desesperança e apreensão. É preciso reafirmar os ideais iluministas, é preciso disseminar cada vez mais a idéia de que somente através da razão e da ciência poderemos alcançar um estado de direito social e uma democracia plena.

Vivemos um momento de grande circulação de informação sobre quase todos os temas, científicos ou não, em todos os tipos de mídia. A cada dia testemunhamos o aparecimento de mais e mais divulgadores da ciência, discutindo assuntos científicos relevantes mas não necessariamente da forma correta. É neste sentido que a Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), criada em 1974, vem oferecer ao público em geral um material que possa preencher esta lacuna existente nos meios de comunicação. Lançando a Revista Brasileira de Astronomia (RBA), a SAB vem cumprir seu papel de zelar: pela liberdade de ensino e pesquisa; pelos interesses e direitos dos astrônomos; pelo prestígio da ciência do País; e além disso estimular a pesquisa, o ensino e a divulgação da Astronomia no Brasil.

A despeito de um certo pessimismo quanto aos rumos que o mundo está trilhando e um crescente ceticismo em relação às instituições modernas, é importante lembrar que os ideais iluministas — razão, ciência, humanismo e progresso, são atemporais e são imprescindíveis no momento atual. A SAB, com o lançamento da RBA, vem participar deste processo de reafirmação!

Reinaldo Ramos de Carvalho
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira

Esquerda
Detalhe de imagem da Nebulosa Carina (NGC 3372).
Crédito: ESO.
Capa
Representação de um buraco negro.
Crédito: NASA/SOFIA/Lynette Cook

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela
Sociedade Astronômica Brasileira

Conselho Editorial
Allan Alves Britto, Reinaldo Ramos de Carvalho, Lucimara Martins, Ramachrisna Teixeira, Thiago Signorini Gonçalves

Editor
Helio J. Rocha-Pinto

Contato
secsab@sab-astro.org.br

Para anunciar
Fale com Rosana no email acima ou ligue (11) 3091-8684, Seg. a Sex. 10 às 16 h.

Para submissões
Contacte um membro do conselho editorial

Presidente
Reinaldo Ramos de Carvalho
Vice-Presidente
Helio J. Rocha-Pinto
Secretário-Geral
Ramachrisna Teixeira
Secretário
Allan Alves de Brito
Tesoureira
Lucimara Martins
Endereço
Sociedade Astronômica Brasileira
Rua do Matão, 1226
05508-090 São Paulo – SP
http://www.sab-astro.org.br

4 **Conheça a nossa Galáxia**

O Sistema Solar encontra-se num sistema estelar muito maior, conhecido como a Galáxia. Saiba mais nesse artigo de Basílio Santiago.

12 **Buracos negros**

Oswaldo D. Miranda conta-nos muitas curiosidades acerca dos buracos negros, mostrando que o conceito de uma estrela escura é até mesmo anterior à Teoria de Relatividade Geral.

22 **Astronomia e educação**

Por que a Astronomia é tão importante para a educação das crianças? Cristina Leite comenta o assunto.

28 **Como ensinamos as estações do ano?**

As estações do ano podem parecer tão simples, mas ainda assim confunde muita gente. O conceito não poderia ser melhor abordado? Ramachrisna Teixeira escreve sobre isso.

Conheça a nossa Galáxia

Longe de ser bem conhecida, a Galáxia ainda surpreende os astrônomos. Levantamentos estelares profundos realizados nessa década nos ajudam a entendê-la melhor.

Vivemos em uma galáxia relativamente comum no contexto das demais. A maioria das suas estrelas está distribuída em um plano, a que chamamos de disco. O Sol, uma dentre centenas de bilhões de estrelas pertencentes à nossa Galáxia (usamos "G" maiúsculo para nos referirmos a ela), pertence ao disco. Nossa Galáxia é, portanto, uma *galáxia disco*. É a projeção deste disco no céu que resulta na faixa de luz difusa e esbranquiçada que corta o céu, conhecida desde a antiguidade como Via Láctea. Sobre o disco Galáctico encontra-se também uma grande quantidade (em torno de 15% da massa estelar) de gás e poeira, a que chamamos de meio interestelar (MI). É desse material que se formam novas estrelas, sendo que o meio inter-

estelar e as regiões de formação estelar que dele resultam se adensam em braços em espiral sobre o disco. Daí também ser comum chamar galáxias como a nossa de *galáxias espirais*.

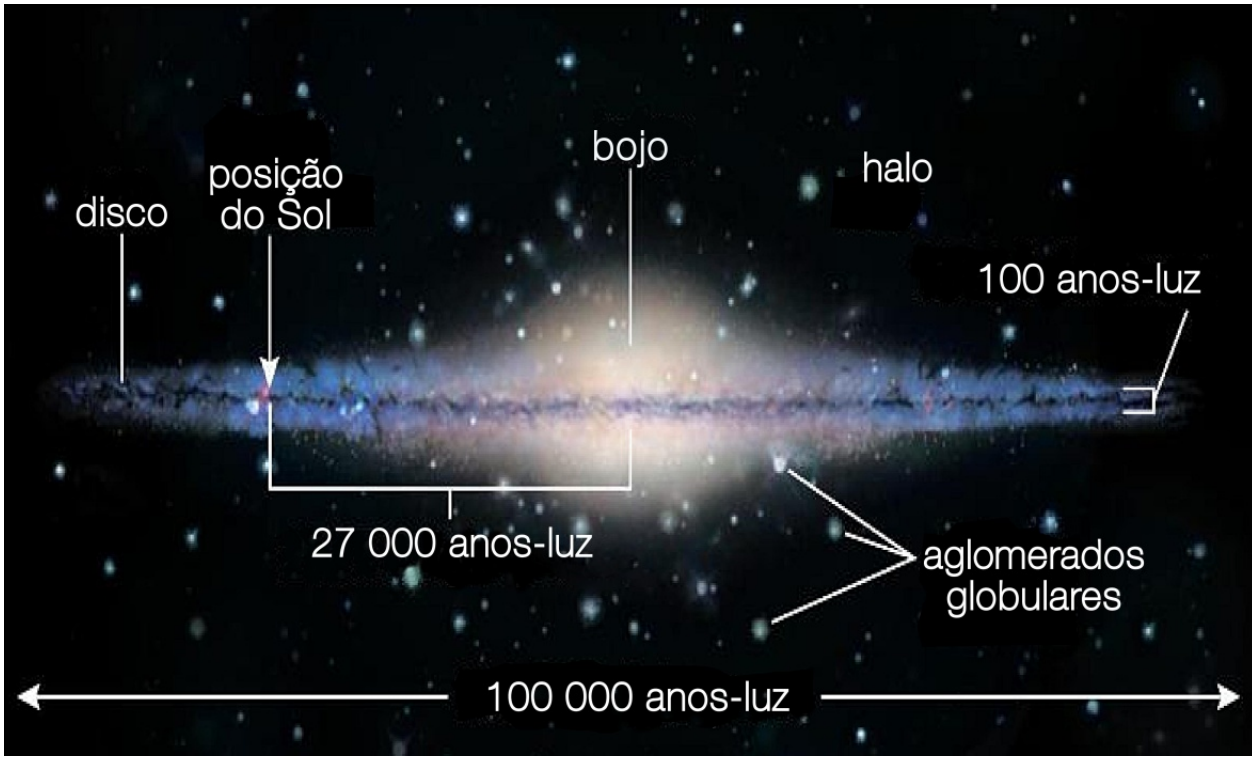
A poeira do MI absorve luz visível, mas deixa passar radiação de maior comprimento de onda, no domínio infravermelho do espectro de radiação eletromagnética. Então, estudar o disco da Galáxia é mais fácil no infravermelho e em comprimentos de onda ainda maiores, como as ondas de radio. Em especial, esse é o caso do centro da Galáxia, que fica na direção da constelação de Sagitário. Graças aos estudos em domínios não-ópticos do espectro eletromagnético, hoje sabemos que nossa Galáxia tem uma ou mais barras em seu centro. É uma *espiral barrada*, portanto.

Mas nossa Galáxia também tem estrelas que formam um componente esferoidal, cujas partes externas chamamos de *halo estelar*. A parte central da Galáxia chamamos de bojo. Muitas galáxias disco possuem um bojo central também de forma esferoidal. Mas outras, como a nossa, têm um componente central na forma de uma ou mais barras ou estruturas ainda mais complexas. É o que chamamos de *pseudo-bojo*. Tudo indica que o componente central mais importante da Galáxia seja um pseudo-bojo. Mas ainda há muito o que aprender sobre ele.

Na página anterior, mostramos um esquema de como nossa Galáxia apareceria em toda a sua

Esquerda
Foto de Yuri Belesky, no Observatório Paranal (ESO).

Abaixo
Diagrama ilustrativo da estrutura da Galáxia. Ao longo da horizontal, vemos o componente planar, o disco, é indicada também a posição do Sol. A faixa escura representa a absorção da luz devido à poeira do MI. Nas regiões centrais temos uma representação do bojo e do núcleo. Neste último é onde está o buraco negro supermassivo. O halo estelar envolve todo o disco e bojo, onde também situam-se os aglomerados globulares. A distância Sol-Centro e o diâmetro do disco estelar são mostrados em kpc.



estrutura se pudéssemos nos distanciar dela. Além do disco, do (pseudo-)bojo e do halo, destacam-se na figura os aglomerados estelares globulares, os quais habitam o halo. A Galáxia também hospeda outro tipo de aglomerado, os abertos, que habitam predominantemente o disco. São centenas de aglomerados globulares e milhares de aglomerados abertos conhecidos. Esse esquema também nos ajuda a dimensionar a Galáxia. Nosso Sol é uma estrela comum situada a 8,2 kpc do centro da Galáxia, equivalente a 27000 anos-luz (1 kpc = 3260 anos-luz). Estrelas são vistas no disco, com densidades cada vez menores, até distâncias 3 vezes maiores do que a do Sol. A densidade de estrelas do halo é ainda menor do que no disco e também cai com a distância ao centro. O halo tem muito pouco MI. Isso equivale a dizer que a formação de novas estrelas está concentrada no plano do disco. Mas o halo se estende em todas as direções até centenas de kpc do centro. Ou seja, o raio mais externo da Galáxia tem em torno de 1 milhão de anos-luz.

De fato já sabemos muito sobre a Via Láctea (o disco Galáctico) e nossa Galáxia como um todo. Isso como resultado de séculos de estudos astronômicos que mapearam a sua distribuição de estrelas, de aglomerados, do MI, e que permitiram estabelecer esse modelo estrutural materializado na figura da página inicial. Estudos mais recentes também analisaram a composição química das estrelas, do gás e da poeira, além de medir as velocidades desse material dentro da Galáxia.

As estrelas do disco, por exemplo, formam um sistema em rotação em torno do centro da Galáxia. O Sol orbita o centro com velocidade de 220 km/s. O estudo da rotação do disco Galáctico, bem como de outras galáxias disco, revela velocidades acima do que deveríamos esperar levando em conta o efeito gravitacional das estrelas e do MI. Portanto, parece haver mais matéria no interior da Galáxia, a qual não observamos diretamente, mas constatamos seu efeito gravitacional. A ela chamamos de matéria escura. Por questões de estabilidade gravitacional, a distribuição dessa matéria escura deve ser aproximadamente esférica, semelhante ao halo estelar descrito anteriormente. Conhecer melhor a natureza da matéria escura, que tipo de partícula a compõe, qual sua massa e outras propriedades, é um dos grandes obje-

Para saber mais

Muitos estudos sobre a Via Láctea estão sendo realizados nos últimos anos. Fique de olho nos seguintes sites:

Projeto 2MASS:
http://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/2mass.html

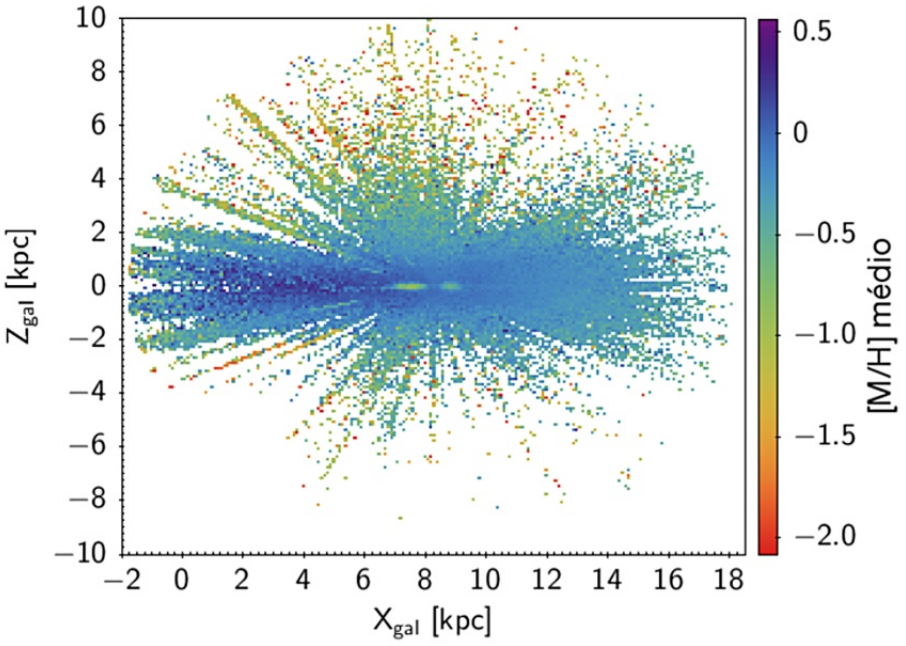
Projeto SDSS:
http://www.sdss.org

Projeto DES:
http://www.darkenergysurvey.org

tivos da Física e da Astronomia contemporâneas.

Contrariamente às estrelas do disco, as estrelas do halo não apresentam um movimento ordenado: suas velocidades e órbitas são as mais variadas e também variam de um ponto ao outro.

Em termos da astroquímica, é importante lembrar que os elementos químicos mais abundantes no Universo são o hidrogênio (H) e o hélio (He). Eles são os elementos mais leves da tabela periódica. O Sol, por exemplo, tem algo entre 98% e 98,5% de sua massa em átomos desses dois elementos. Todos os demais elementos químicos são chamados de metais pelos astrônomos, apesar de essa definição nada ter a ver com a definição usual da Química. As estrelas do halo estelar são comparativamente de baixa metalicidade com relação às do disco. Elas têm uma fração de metais bem menor do que o Sol, da ordem de 1/10 ou menos desse valor. No disco, as estrelas mais ricas em metais podem ter duas vezes mais metais do que o Sol, enquanto as mais pobres, chegam a 1/10 da metalicidade solar. Na figura acima vemos um mapa da nossa Galáxia, semelhante ao esquema mostrado antes. Mas agora cada ponto é um conjunto de estrelas ali localizadas e a cor do ponto indica a metalicidade média, expressa na figura como o parâmetro [M/H], que é uma medida da abundância de átomos de ferro com relação ao hidrogênio. Vemos que as estrelas de maior metalicidade tendem a se concentrar mais perto do centro do disco do que as de menor metalicidade. Essas últimas também tendem a formar uma distribuição mais espessa. Nesse disco espesso predominam as estrelas de baixa metalicidade, mais velhas e com menor velocidade de rotação.



Acima
Distribuição das estrelas do levantamento APOGEE projetada no plano XZ, onde a coordenada Z é perpendicular ao plano do disco e a coordenada X está sobre esse plano e conecta o centro Galáctico (situado em (X,Z)=(0,0) kpc) ao Sistema Solar, situado em (X,Z)=(8,0) kpc. As cores dos pontos indicam a metalicidade média ([M/H]) das estrelas em cada ponto do espaço, conforme a barra de cores à direita. Note que as estrelas fora do plano do disco, que pertencem ao disco espesso e halo, tendem a ter menos metais. E ao longo do plano do disco, à medida que aumenta o valor de X (ou seja, da esquerda para a direita), a metalicidade cai suavemente.

A Galáxia que foge a nossos olhos

Graças à tecnologia aeroespacial, hoje conseguimos estudar nossa Galáxia em todas as frequências do espectro eletromagnético, sem a intereferência at-

mosférica.

A figura da página ao lado mostra mapas de emissão de diferentes faixas do espectro, em ordem de comprimento decrescente da onda eletromagnética. Em todos eles, o plano da Via Láctea sempre se destaca. Nossa Galáxia tem um aspecto marcadamente distinto em cada um desses mapas.

No rádio, vemos o disco em geral numa configuração bem fina, já que essa radiação mapeia o gás do meio interestelar, o qual está bem assentado no plano Galáctico.

No infravermelho próximo, pelo fato já mencionado de que o MI é transparente para essa radiação, vemos então o disco estelar em todo seu esplendor. Já no infravermelho distante, vemos uma combinação da distribuição de estrelas frias com a distribuição da poeira do MI, que absorve a luz óptica, mas emite nessa faixa do espectro.

No óptico, a aparência do mapa se assemelha ao que vemos com nossos olhos. É a tênue e difusa radiação de bilhões de estrelas do disco, entrecortada pela presença das nuvens de poeira do meio interestelar, que bloqueiam a passagem dessa luz.

Em raios X, a emissão é dominada por objetos relativamente raros e em eventos de alta energia ocorrem ou ocorreram recentemente. São em sua maioria remanescentes de explosões de supernovas ou de outras explosões estelares, além de binárias de contato, em que matéria é transferida em alta velocidade de uma estrela à sua companheira.

Em raios gama, (os menores comprimentos de onda), predomina a emissão de radiação pela frenagem de raios cósmicos (produzidos, por exemplo, em explosões estelares) pelo MI.

Observações no infravermelho também revelam que há um aglomerado jovem de estrelas bem no centro Galáctico. E as observações em rádio evidenciam a presença de uma fonte emissora bem compacta, a que chamamos de Sgr A. Medidas de movimento das estrelas em torno dessa fonte indicam velocidades muito altas. Deve haver então uma grande concentração de matéria num volume compacto em Sgr A. Ali provavelmente habita um buraco negro gigante, com uma massa de algumas milhões de estrelas como o Sol. Esses buracos negros supermassivos (BNSM) são bastante comuns no centro das galáxias e a nossa não é exceção. Mas este assunto também exigiria um artigo em separado.

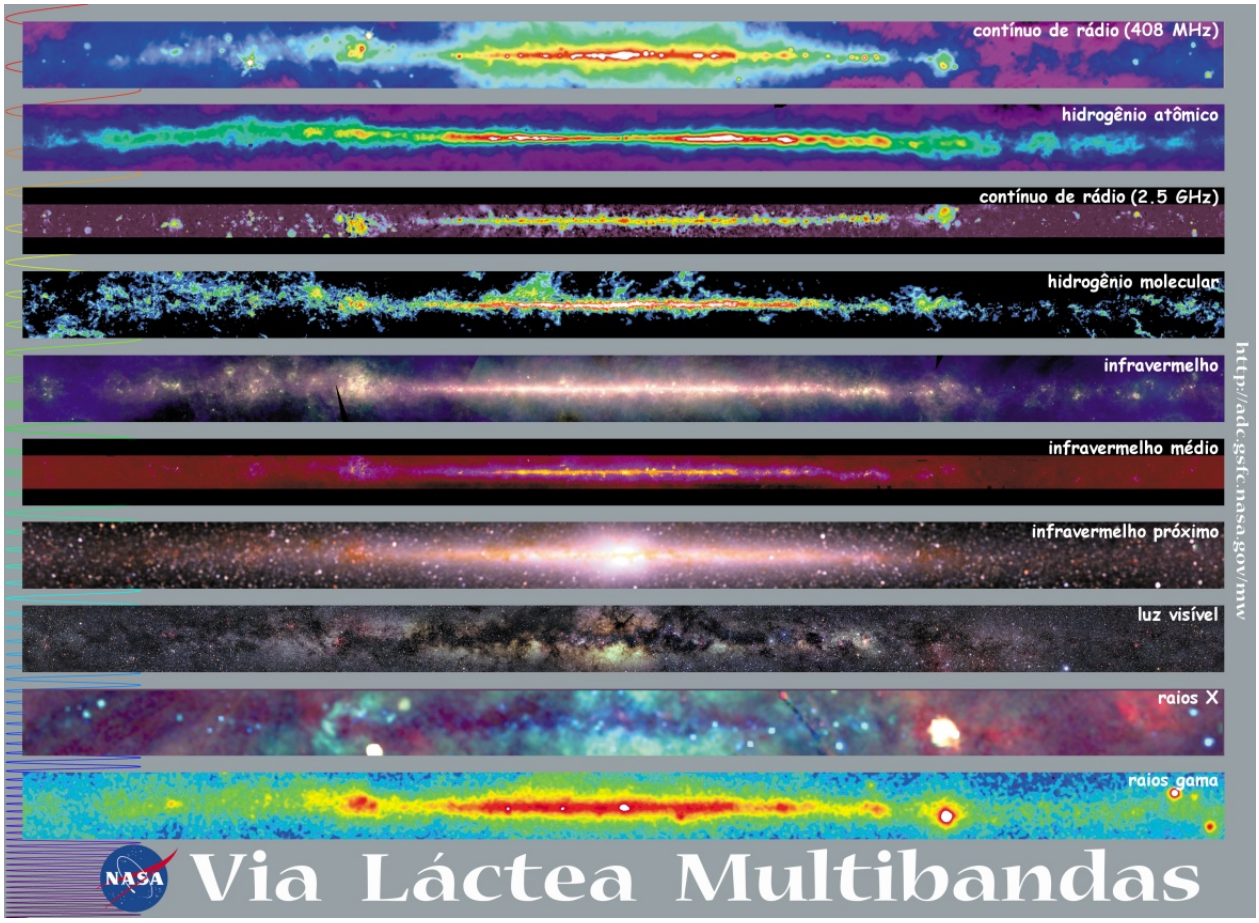
Finalmente, uma descoberta recente e muito importante sobre nossa Galáxia é a de que há uma grande quantidade de gás quente no halo Galáctico. Esse gás está a baixa densidade, mas emite em raios X. Sua massa total equivale a uns 40 bilhões de sóis.

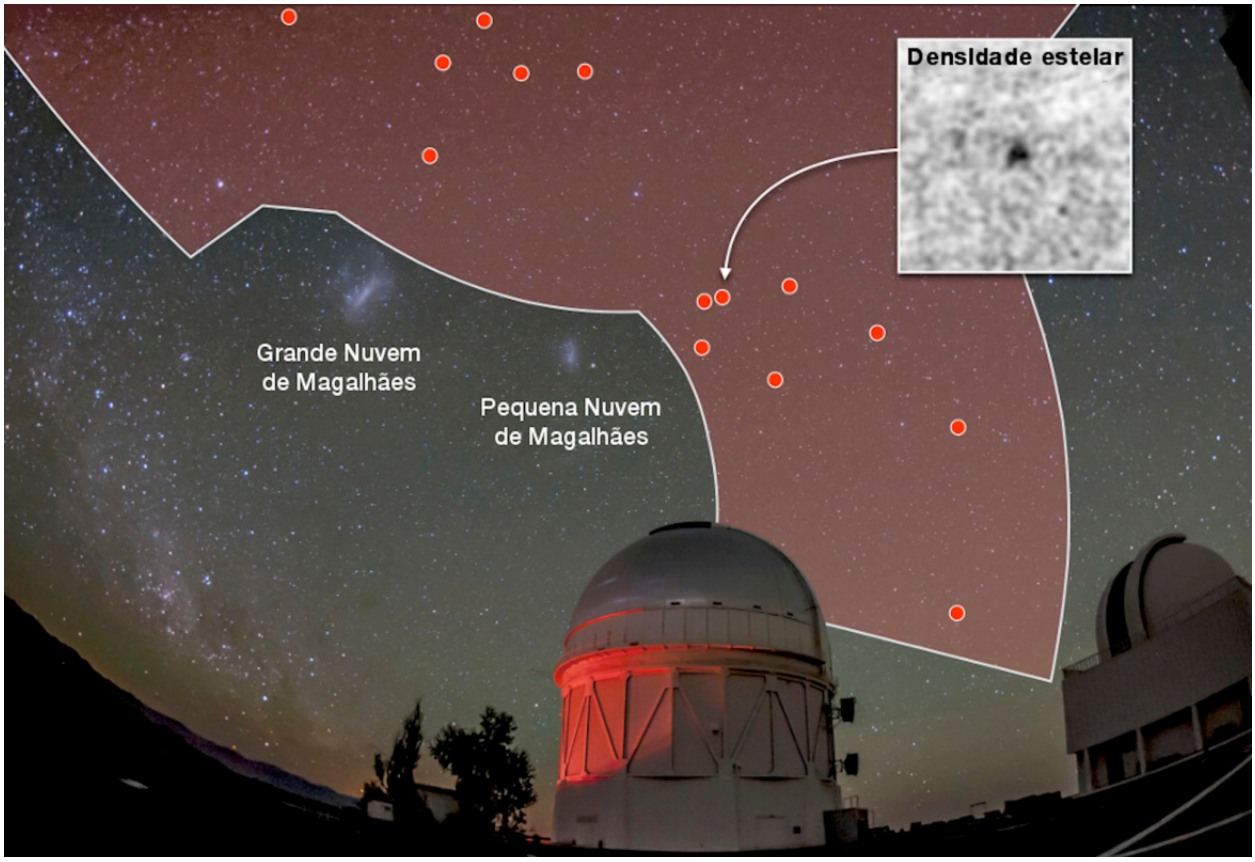
A Galáxia inexplorada

Ainda estamos aprendendo muito sobre a estrutura de nossa Galáxia. As já mencionadas descobertas de um halo de gás quente emitindo raios X, o debate atual sobre a estrutura do pseudo-bojo central, ou ainda nosso desconhecimento sobre a natureza da matéria escura mostram isso.

Na verdade, a enorme maioria das estrelas que já sensibilizaram nossos detectores astronômicos está situada a 50 kpc do centro Galáctico ou menos. Mas sabemos que o halo estelar da Galáxia se estende até distâncias de 300 kpc, ou mesmo um pouco mais. Além de 50 kpc ainda encontramos aglomerados estelares e galáxias anãs orbitando em torno da Galáxia, bem como estrelas suficientemente luminosas para serem detectadas individualmente. Esses objetos são provavelmente a ponta do iceberg de uma população de estrelas, aglomerados e galáxias anãs menos luminosas, ainda por ser revelada. A julgar pela nossa vizinha galáxia de Andrômeda, onde vemos subestruturas na forma de nuvens e correntes estelares a centenas de kpc do seu centro, o halo de nossa Galáxia também deve ter muitas subestruturas por revelar, as quais indicam grandes eventos de

Abaixo
Mapas do céu em diferentes comprimentos de onda, do maior, que são as ondas de radio (quatro mapas superiores), até o menor, que são os raios X e gama (dois mapas inferiores). Os paineis intermediários mostram a emissão no infravermelho e na luz visível.





fusão e acreção de outras galáxias. Essas subestruturas contam muito da história de como a Galáxia foi acumulando matéria e estrelas ao longo do tempo. E os aglomerados e galáxias satélites observados funcionam como um registro fóssil da população muito maior desses objetos que deveria estar presente quando a Galáxia se formou.

Fundamental para o estudo da estrutura e das subestruturas da Galáxia é a capacidade de coletar dados em todas as direções do céu, tanto no Hemisfério Norte quanto no Sul. Isso vem sendo feito por grandes levantamentos de dados astronômicos, que usam telescópio e instrumentos específicos para captar a luz de milhões de estrelas da Galáxia. O *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) e o *Two Micron All-Sky Survey* (2MASS) foram levantamentos pioneiros que, respectivamente, coletaram dados de estrelas da Galáxia (entre outros objetos) no óptico e no infravermelho. Ambos revelaram uma grande quantidade de correntes estelares e novos satélites orbitando o halo estelar. O SDSS e 2MASS mostraram como vêm sendo comuns os eventos de acreção de sistemas estelares menores ao longo da evolução Galáctica.

Para ampliar o volume amostrado pelos surveys, é necessário também captar a luz de estrelas

cada vez mais tênues. Isso exige telescópios maiores dedicados a eles. Enquanto o SDSS usou um telescópio com um espelho de 2,5 m de diâmetro, o Dark Energy Survey está usando um telescópio de 4 m diâmetro. Outra diferença é que o DES está amostrando o Hemisfério Sul, enquanto o SDSS cuidou mais do Hemisfério Norte.

Uma das grandes contribuições do DES foi a descoberta de inúmeras galáxias satélites, correntes e nuvens estelares em regiões do halo antes ainda inexploradas em profundidade. A figura da página anterior mostra uma parte da região do céu coberta pelo DES e, dentro dela, a posição no céu de vários desses novos satélites Galácticos. A figura faz também uma montagem com a paisagem do Observatório Interamericano de Cerro Tololo (CTIO) e seu telescópio que está coletando os dados.

Um pouco sobre o futuro

Nosso conhecimento sobre a Galáxia deverá ser muito ampliado nas décadas vindouras. O *Atacama Large Milimiter Array* (ALMA) é uma rede de antenas de radio que está mapeando em grande detalhe as propriedadas das regiões de formação estelar, permitindo que conheçamos melhor a física que descreve a conversão do gás e poeira do meio interestelar em novas estrelas. O *James Webb Space Telescope* (JWST) a ser lançado ao espaço em 2021, irá operar principalmente na região do infravermelho, dissecando principalmente estrelas frias e jovens, bem como seus envoltórios de poeira e gás. O *Large Synoptic Survey Telescope* (LSST), um levantamento óptico previsto para começar em 2022, irá amostrar estrelas de massa menor do que a do Sol nos mais distantes confins do halo Galáctico, e até além. Poderemos então estar muito próximos de ter um censo completo da estrutura Galáctica e de suas subestruturas. ▪

Basílio Xavier Santiago
Univ. Fed. do Rio Grande do Sul
basilio.santiago@ufrgs.br

Na página ao lado
A maior parte da região do céu austral coberta pelo levantamento DES é mostrada em cor de vinho, limitada por linhas brancas. Os círculos em vermelho mostram a posição no céu de vários dos satélites da Galáxia, galáxias anãs de muito baixa potência luminosa, contendo por vezes poucas milhares de estrelas. Esses satélites foram descobertos nos últimos 3 anos pelos pesquisadores do DES, com intensa participação brasileira. As duas maiores satélites da Galáxia, a Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães, são mostradas como manchas azuis. A paisagem do CTIO também é mostrada, com destaque para a cúpula do telescópio que coleta os dados do DES. (Crédito: LineA/MCTIC)

Buracos negros

Buracos negros são os mais fascinantes e perturbadores objetos do Cosmos. E ainda sabemos tão pouco sobre eles!

Buracos negros são os mais estranhos e fascinantes objetos do cosmos. Embora muitos creditem o conceito buraco negro à teoria da relatividade geral de Einstein, a ideia fundamental sobre esses objetos surgiu muito antes, ao final do século XVIII. Em 1783, o reverendo inglês e astrônomo, John Michell, colocou a seguinte questão:

"Quão massivo um corpo celeste deveria ser para que a luz dele não escapasse?"

Anos mais tarde, e de forma independente, o astrônomo francês, Pierre-Simon Laplace, colocou a mesma questão, tentando

entender o papel da densidade de mas-sa na formação e nas propriedades físicas desses objetos, cha2mados a época de *estrelas escuras*. Laplace, em 1796, levantou a seguinte hipótese:

> *"Devem existir nos céus corpos escuros, tão grandes e tão numerosos quanto as próprias estrelas. Raios de uma estrela luminosa com a mesma densidade da Terra e um diâmetro de 250 vezes a do Sol não nos alcançariam por causa da sua atração gravitacional; portanto, é possível que os maiores corpos luminosos do universo sejam invisíveis por esse motivo."*

A comunidade científica não deu importância às ideias desses dois precursores dos *mundos invisíveis*. Assim, as estrelas escuras ficaram esquecidas por mais de 100 anos. Em 1915, Albert Einstein completou a sua teoria da relatividade geral (TRG) nos premiando com uma das mais belas teorias da física. Com base nessa teoria, o astrônomo alemão Karl Schwarzschild, em 1916, obteve uma solução matemática exata das equações de campo de Einstein. Essa solução ficou conhecida como **métrica de Schwarzschild**.

O próprio Einstein ficou bastante surpreso ao saber que suas equações de campo admitiam soluções exatas, em parte por causa de sua complexidade à primeira vista, mas em parte porque naquele tempo ele próprio só produzira uma solução aproximada. Entretanto, o sistema de coordenadas de Schwarzschild, baseado em um espaço-tempo esfericamente simétrico, foi capaz de produzir uma solução exata para tais equações.

A solução encontrada permitiu identificar que para uma dada massa existirá um raio característico, conhecido como raio de Schwarzschild, onde, se essa massa pudesse ser comprimida para se encaixar nesse raio, nenhuma força ou pressão conhecida poderia impedir que ela continuasse a colapsar em uma singularidade gravitacional ou buraco negro.

Assim, onde o raio do corpo é menor que seu raio de Schwarzschild, tudo, até mesmo os fótons de luz, devem inevitavelmente cair no corpo central. Quando a densidade de massa desse corpo central excede um limite particular, ele desencadeia o colapso gravitacional que é conhecido como **buraco negro de Schwarzschild**. A aceitação geral da possibilidade de um buraco negro não ocorreu até a segunda metade do século XX, e o próprio Schwarzschild não acreditava na realidade física dos buracos negros; considerava que sua solução era mais um exercício de física matemática do que a descrição de um objeto real do mundo físico.

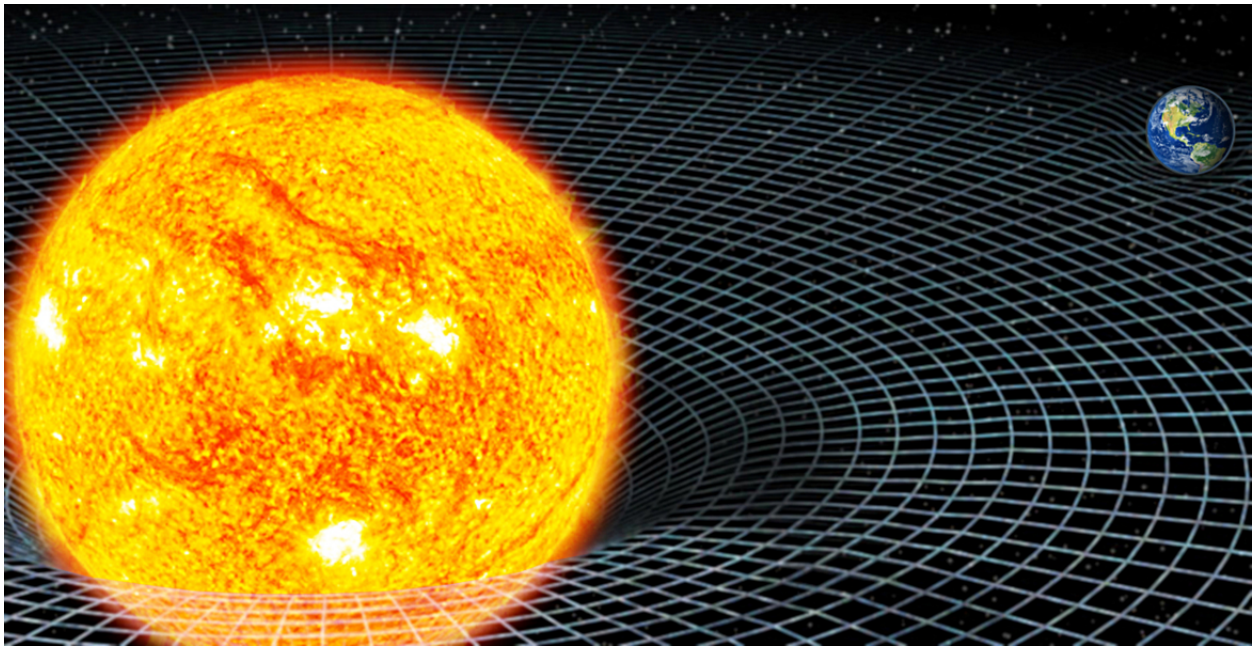
Esquerda
Representação artística de um buraco negro diante de um campo estelar. (Crédito: WikiCommons e NASA.)

A vitória final da força gravitacional

Um buraco negro é a consequência do colapso gravitacional de uma estrela de grande massa. Durante sua vida, a estrela queima seu combustível para resistir ao peso de sua própria gravidade e evitar que ela desmorone em seu centro. Para fazer isso, a estrela usa fusão termonuclear que, em temperaturas muito altas (acima de 15 milhões de Kelvin), fundem átomos de hidrogênio, gerando átomos de hélio e liberando uma colossal energia. Esse gradiente de temperatura (ou pressão) é o que contrabalança a força gravitacional nas estrelas, assim evitando que suas camadas mais externas "despenquem" sobre as camadas mais centrais.

Os astrônomos chamam o período em que as estrelas queimam hidrogênio para produzir hélio de sequência principal. A energia produzida permitirá o aparecimento de uma força repulsiva para lutar contra a gravidade. Na realidade, durante a sequência principal, as estrelas comportam-se como *gigantescas bombas de hidrogênio em explosão perpétua*, mas isso nada tem a ver com as "bombas H" que os seres humanos são capazes de fabricar. Para você ter uma referência, a usina hidroelétrica de Itaipu produz, ao longo de um ano, cerca de 100 milhões de Megawatts-hora. O Sol gera essa energia em apenas 1 nanossegundo, o que significa que são necessárias 1 bilhão de usinas como Itaipu, produzindo energia ao longo de um ano inteiro, para produzir a mesma quantidade de energia que o Sol gera em 1 segundo.

Dependendo da massa com que uma estrela inicie sua vida, ela



Abaixo
O tecido do espaço-tempo sendo curvado na presença de um corpo com grande massa (Sol). O corpo de menor massa (Terra) sente essa curvatura e se desloca descrevendo o movimento orbital. A força gravitacional surge como resultado da curvatura do espaço-tempo. (Crédito: Schwarza, Divulgador e Youtuber do Canal Poligonautas.)

passará por diferentes ciclos de fusão nuclear: queima de hidrogênio produzindo hélio, queima de hélio produzindo carbono... Chegará, contudo, um momento em que a estrela esgotará seu combustível e não conseguirá mais contrabalançar a sua própria gravidade. Nesse momento existirão três opções para a estrela morrer, que serão determinadas pela massa da estrela quando formada e pela sua capacidade para ejetar parte da massa antes do colapso final.

Estrelas que deixem remanescentes com massa até 1,4 vezes a massa do Sol tornar-se-ão anãs brancas. Estrelas que deixarem remanescentes no intervalo de 1,4 a 3,2 massas solares se tornarão estrelas de nêutrons. Estrelas que produzam remanescentes acima de 3,2 massas solares resultarão em buracos negros — a vitória final da gravidade.

O nosso Sol, que se encontra queimando hidrogênio para produzir hélio, tem raio aproximadamente igual a 700.000 quilômetros. Quando não tiver mais condições de produzir energia, suas camadas externas desabarão comprimindo e compactando a matéria solar. Os elétrons que compõem os átomos do Sol serão "forçados" a se aproximar dos núcleos atômicos, atingindo uma situação que os astrofísicos, e os físicos, chamam de *degenerescência*. A situação de equilíbrio, para contrabalançar a força gravitacional, será alcançada quando o Sol atingir cerca de 7.000 quilômetros de raio (isso é quase o tamanho da Terra).

Estrelas em condições de tornarem-se estrelas de nêutrons serão ainda mais compactas. Neste caso, os elétrons aproximam-se tanto dos núcleos atômicos que a maior parte dos prótons serão convertidos em nêutrons. Estes, por sua vez, sustentarão a gravidade se o remanescente estelar tiver no máximo 3,2 massas solares. Mas o custo, para atingir o equilíbrio gravitacional, será formar uma estrela ainda mais compacta que a anã branca. Uma estrela de nêutrons com uma vez e meia a massa do Sol terá aproximadamente 15 quilômetros de raio. Acima de 3,2 massas solares, em princípio, nada poderá segurar o colapso gravitacional — a estrela se tornará um buraco negro.

Curvando o Espaço-Tempo

A TRG de Einstein entende a gravitação como resultado da curvatura do "tecido espaço-temporal" que a tudo permeia. A forma mais direta de você entender a gravitação, no contexto da TRG, é imaginar uma cama elástica muito bem esticada (tipo de brinquedo que as crianças certamente adoram). Essa cama elástica representa o espaço-tempo. Coloque uma esfera densa e massiva no centro do "nosso espaço-tempo". Devido à presença dessa esfera,

a cama elástica se deformará. Se você soltar uma bolinha de gude nas proximidades dessa esfera massiva, ela se deslocará em direção a parte mais curvada da cama elástica. Algo parecido a esse exemplo é o que ocorre com o espaço-tempo. Na presença de um objeto massivo, o tecido do espaço-tempo se deformará, fazendo com que corpos de menor massa, e até mesmo a luz, desloquem-se em direção ao objeto que atuou como fonte da curvatura do espaço-tempo.

Os astrofísicos e os físicos costumam dizer que as equações de campo de Einstein conectam geometria (através da curvatura do espaço-tempo) com a física (através das matéria e radiação presentes numa certa região do espaço). Matéria e radiação (ou luz) dizem ao espaço-tempo como se curvar; por outro lado, a curvatura diz às matéria e luz como elas devem se comportar. A força gravitacional é o resultado dessa "união" entre a curvatura do espaço-tempo e os campos (matéria e radiação) que permitem a tudo descrever no universo.

Velocidade de Escape: Aproximando do Raio de Schwarzschild

A medida que a matéria vai sendo compactada para dimensões cada vez menores, aumenta a velocidade de escape do seu campo gravitacional. A grosso modo, essa velocidade depende da razão entre a massa e o raio do objeto. Por exemplo: a velocidade de escape da Terra é 11,2 quilômetros por segundo; para o Sol é de 618 quilômetros por segundo. Imagine agora que toda a matéria da Terra seja comprimida para fazer com que a velocidade de escape se iguale a da luz. O resultado é que a Terra passaria a ter raio de 1 centímetro... dá para imaginar? O Sol passaria a ter raio de 3 quilômetros... Incrível! Se fosse possível comprimir Terra ou Sol a essas dimensões, geraríamos um buraco negro.

Quando um remanescente estelar tem massa acima de 3,2 massas solares, a sua própria gravidade faz com que seja atingido o raio de Schwarzschild. Você pode

Você sabia?

* 0 termo buraco negro somente foi introduzido em 1967 pelo físico John Archibald Wheeler.

* Flutuações quânticas do vácuo podem gerar pares partícula–antipartícula mesmo no espaço-tempo plano. Isto é, em regiões do espaço-tempo longe de fontes de campo gravitacional. Contudo, próximo do horizonte de eventos de um buraco negro, o processo pode ser bem mais eficiente.

* A colaboração científica LIGO reúne mais de 1.000 cientistas ao redor do mundo.

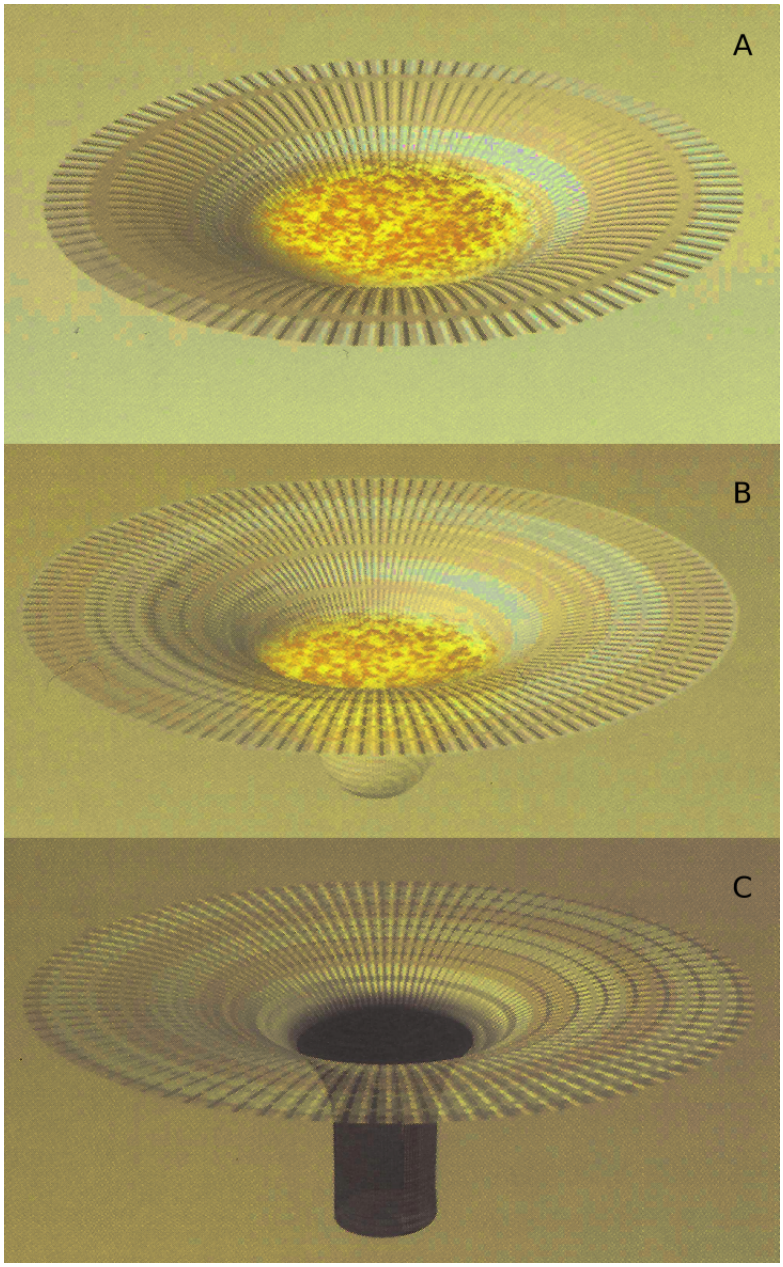
tomar o raio de Schwarzschild do Sol, como referência, e a partir dele calcular o respectivo valor para qualquer massa de buraco negro que deseje. Um buraco negro com 10 massas solares terá, aproximadamente, 30 quilômetros. Um buraco negro com 10000 massas solares terá 30000 quilômetros de raio. Para um buraco negro sem rotação e sem carga elétrica, o raio de Schwarzschild representa a fronteira de não retorno — ou horizonte de eventos — uma vez ultrapassada seria necessário atingir velocidades acima da velocidade da luz para retornar.

Os Diferentes Tipos de Buracos Negros no Universo

A grosso modo, em função da massa, existem três diferentes tipos de buracos negros: buracos negros estelares, supermassivos e os miniburacos negros. Esses buracos negros teriam se formado de diferentes maneiras.

Buracos negros estelares se formam quando uma estrela massiva entra em colapso (é o caso que descrevemos acima). Os supermassivos, que podem ter massa da ordem de milhões a bilhões de massas solares, provavelmente existem nos centros da maioria das galáxias, incluindo a nossa própria Via Láctea. Não sabemos exatamente como os buracos negros supermassivos se formam, mas é provável que sejam um

Abaixo
O painel "A" mostra a deformação produzida na estrutura do espaço-tempo por uma estrela de alta massa durante a sequência principal (queima de hidrogênio para produzir hélio). O painel "B" mostra a estrela no momento em que inicia o colapso para a formação do buraco negro. A estrela vai se tornando cada vez mais compacta aumentando a curvatura do espaço-tempo. O painel "C" mostra o buraco negro formado. (Crédito: figura adaptada pelo autor a partir da referência *O Universo numa Casca de Noz* de Stephen Hawking).



subproduto da própria formação das galáxias. Devido à sua localização, perto de muitas estrelas e nuvens de gás, os supermassivos continuam a crescer em massa e tamanho a partir da rica dieta composta por matérias estelar e gasosa. No centro da Via Láctea encontra-se um buraco negro com 4 milhões de massas solares (portanto, com raio de Schwarzschild da ordem de 12 milhões de quilômetros).

Miniburacos negros, com massa muitíssimo menor que a massa do Sol, ainda não foram encontrados. Contudo, é possível que esses objetos tenham se formado logo após o "Big Bang", que supostamente marcou o surgimento do nosso universo cerca de 13,7 bilhões de anos atrás. Durante os primórdios de vida do universo, a rápida expansão do espaço-tempo poderia ter comprimido matéria numa região suficientemente pequena para contrair, colapsar e formar os miniburacos negros.

Outras Soluções para Buracos Negros — Suas Implicações

Embora a solução de Schwarzschild tenha sido a primeira a descrever esses objetos, ao longo do século XX outras soluções foram obtidas a partir da TRG de Einstein: a chamada solução de Reissner-Nordström, obtida entre 1916 e 1918, descreve um buraco negro sem rotação mas com carga elétrica. A solução de Kerr, obtida em 1963, descreve um buraco negro em rotação mas sem carga elétrica. Já a solução de Kerr-Newman, obtida em 1965, descreve um buraco negro em rotação e com carga elétrica. As soluções que ao menos por enquanto os astrofísicos consideram as mais interessantes são as de Kerr e Schwarzschild.

Quando um buraco negro está em rotação, surgirá uma outra região de interesse chamada **ergosfera**. Por causa da rotação, o espaço-tempo ao redor do buraco negro não é apenas curvado, ele é também torcido como um elástico!

A ergosfera toca o horizonte de eventos (ou fronteira de não retorno) nos pólos, estendendo-se a um raio maior do que este na região equatorial. Com baixa rotação, a forma da ergosfera assemelha-se a um esferóide oblato (formato de uma bola de futebol americano), enquanto com rotações mais altas, a forma assemelha-se a de uma abóbora. O horizonte de eventos de um buraco negro em rotação é menor do que o de um buraco negro, de mesma massa, sem rotação. Objetos na ergosfera de um buraco negro podem escapar da sua atração gravitacional. O nome ergosfera vem do grego *ergon* que significa “trabalho” (termo que os físicos muitas vezes usam como sinônimo para energia). Do ponto de vista teórico, a ergosfera é uma região a partir da qual seria pos-

sível extrair matéria e energia do buraco negro. Isso porquê a energia rotacional do buraco negro não está dentro do horizonte de eventos e sim na sua ergosfera.

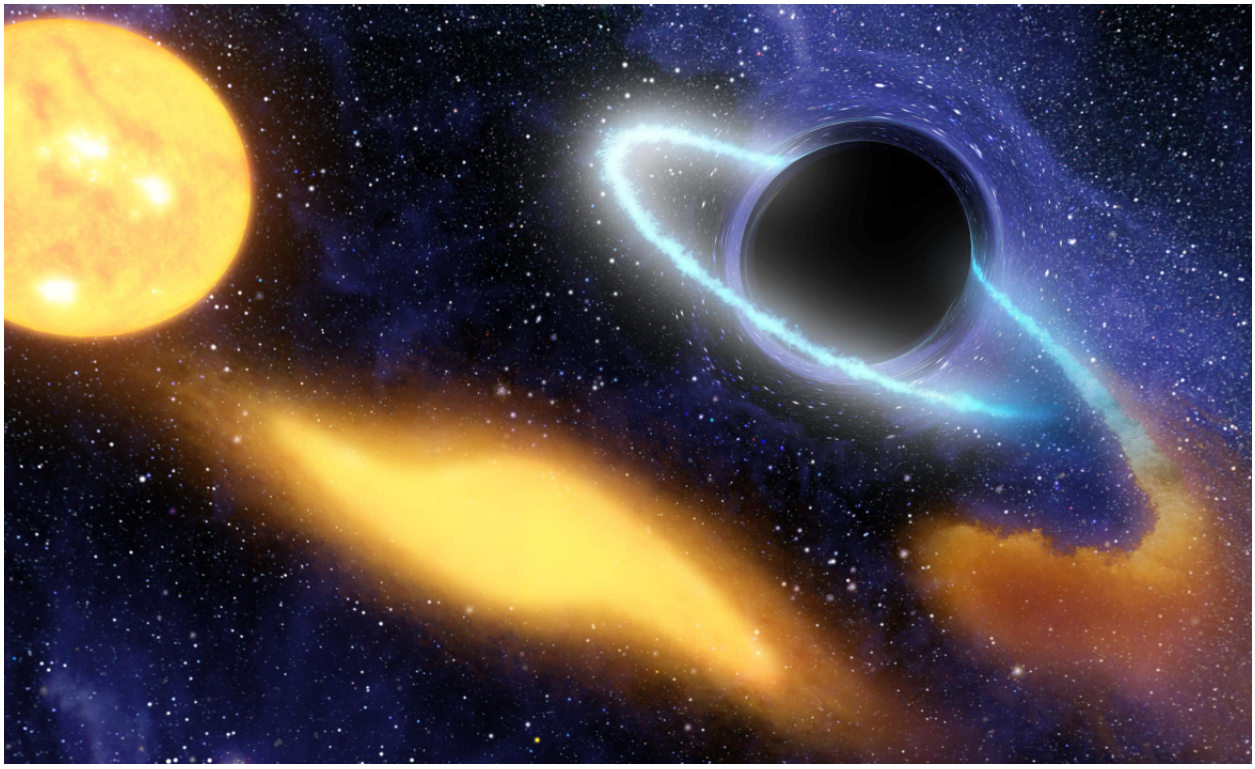
Como o buraco negro em rotação além de curvar o espaço-tempo ainda o enrola como se fosse um elástico, quando uma porção de matéria entra na ergosfera, ela poderá se dividir em duas partes. Caso uma dessas partes caia em direção ao centro do buraco negro e a outra parte escape da ergosfera então, sob certas condições, a parte que escapa poderá adquirir energia maior do que quando entrou. Na prática, a fração de matéria que escapa tira parte da energia de rotação do buraco negro. Esse mecanismo foi proposto nos anos 60 pelo físico Roger Penrose. Caso esse processo seja sucessivamente repetido, poderia-se retirar toda a rotação do buraco negro, transformando-o num buraco negro de Schwarzschild.

Em 1974, Stephen Hawking identificou outro mecanismo físico associado aos buracos negros. Hawking mostrou que próximo ao horizonte de eventos poderia ser criado um *par partícula–antipartícula*, através de flutuações quânticas induzidas pela enorme curvatura do espaço-tempo. Esses pares são produzidos por causa da energia gravitacional (sinônimo de massa) do buraco negro. Caso uma delas ultrapasse o horizonte de eventos e a outra não, isso equivalerá a retirar energia gravitacional (massa) do buraco negro. Em resumo, esse processo faz com que o buraco negro perca massa — fenômeno chamado de **evaporação do buraco negro**.

Como esses pares partículas–antipartículas são criados a partir de flutuações quânticas, a que escapa do buraco negro comporta-se como radiação: a **radiação de Hawking**. Essa radiação tanto pode ser produzida por buracos negros em rotação quanto por buracos negros de Schwarzschild. Contudo, esse mecanismo, radiação de Hawking, somente se tornará eficiente para evaporar buracos negros se eles tiverem massa muito pequena. Por exemplo: um buraco negro com 1 massa solar levará 10^{67} anos para evaporar (compare com a idade do universo que é 10^{10} anos); se o buraco negro tiver massa igual a da Lua, levará 10^{44} anos. Assim, os buracos negros em condições de evaporar durante o tempo de vida do universo, através da radiação de Hawking, seriam os mini-buracos negros.

2015: Consagração da TRG de Einstein

Desde os anos 70 avolumaram-se dados mostrando que buracos negros são objetos comuns no universo. Contudo, esses dados forneciam a evidência indireta da existência das *estrelas escuras* de Michell e Laplace. Quando um objeto cai em um buraco negro, ele é fragmentado e aquece. À medi-



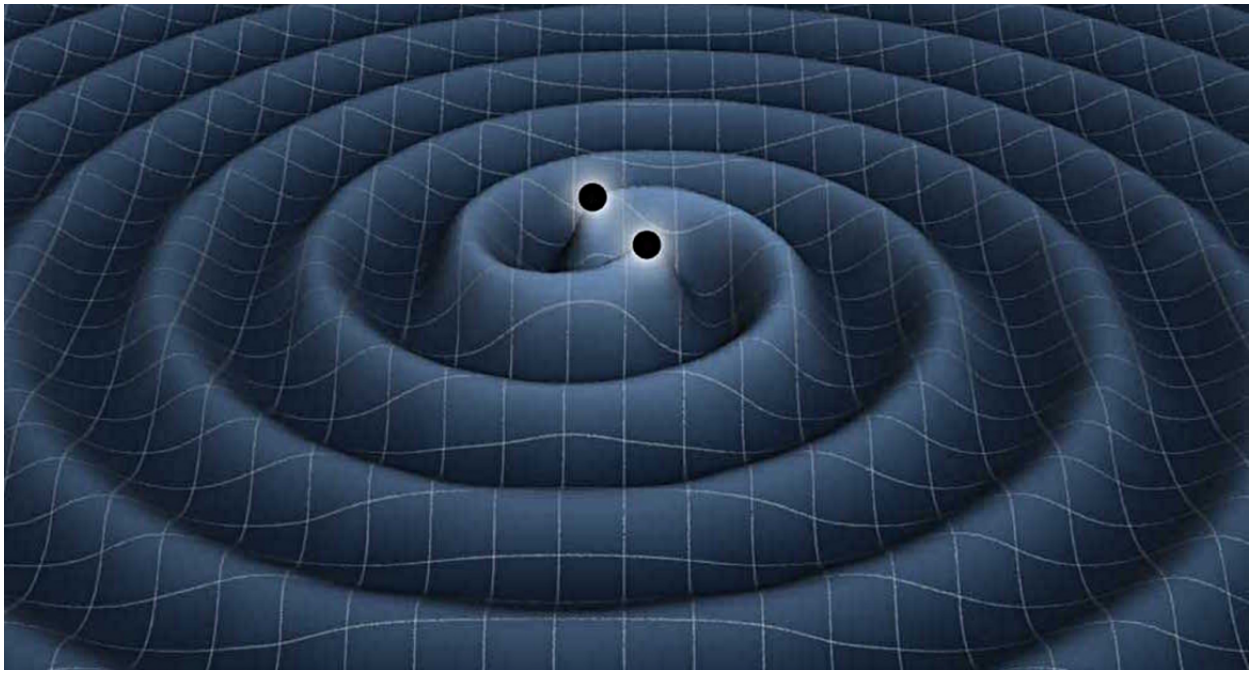
Acima
Visão artística de um buraco negro supermassivo se alimentando de uma estrela próxima. À medida que a matéria se aproxima do buraco negro, aquece passando a emitir raios X. (Crédito: NASA/JPL/CALTECH)

da que se aquece, começa a emitir radiação na forma de raios X. Essa foi uma das primeiras técnicas utilizadas para "observá-los".

Uma outra técnica consiste em observar o movimento de estrelas próximas a um buraco negro. Analisando seus movimentos e períodos orbitais é possível estimar a massa do corpo central que produziu esse movimento sobre as estrelas. É através dessa técnica que se estima a massa do buraco negro no centro da Via Láctea. Contudo, todas as inferências através dessas técnicas são indiretas. Elas permitiram encontrar um número enorme de candidatos a buraco negro ao longo de quase quatro décadas... Mas faltava a medida direta desses objetos; algo que fosse intrínseco dos buracos negros e que não deixasse dúvida da sua assinatura observacional.

A tão esperada medida direta ocorreu em 2015. Nesse ano, astrônomos usando o *Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory* (LIGO) realizaram a primeira detecção de ondas gravitacionais. Desde então, o instrumento observou vários outros eventos. As ondas gravitacionais detectadas pelo LIGO vieram da fusão de dois buracos negros estelares. A forma da onda gravitacional detectada é a impressão digital, única portanto, gerada pelas ondulações produzidas no tecido do espaço-tempo pelo movimento orbital de dois buracos negros.

As observações do LIGO trou-



Acima
Visão artística da fusão de dois buracos negros estelares, um orbitando o redor do outro. À medida que os objetos vão se aproximando, ondulações — ondas gravitacionais — crecentes vão sendo produzidas no tecido do espaço-tempo. (Crédito: NASA.)

xeram dois aspectos interessantes; em primeiro lugar, corroboraram a última previsão da TRG de Einstein: a existência das ondas gravitacionais. Essas ondas foram previstas por Einstein em 1916 e sua detecção direta constituiu-se num dos grandes desafios da física experimental ao longo do século XX e início do século XXI. Em segundo lugar, mostraram que buracos negros são objetos comuns e abundantes no universo. Adicionalmente, os buracos negros podem se agrupar formando sistemas binários e quem sabe múltiplos de buracos negros.

Caso Laplace pudesse revisar o texto que escreveu há 222 anos tendo por base o conhecimento acumulado ao longo dos últimos cem anos, e com especial destaque para as recentes observações do LIGO, quem sabe ele não o reescrevesse da seguinte forma:

"Existem nos céus corpos escuros, tão grandes e tão numerosos quanto as próprias estrelas". ▪

Oswaldo Duarte Miranda
Instituto Nac. de Pesq. Espaciais
oswaldo.miranda@inpe.br

Astronomia na Educação Básica

É possível introduzir conceitos de Astronomia desde a Educação Básica. O tema é muito importante para a formação de cidadãos conscientes.

O céu, numa noite estrelada, por si só, proporciona satisfação e admiração, principalmente pela sua inegável e misteriosa beleza, bem como pelas sensações de vazio e solidão provocadas. Não é à toa que o fascínio pelos fenômenos celestes tenha levado diferentes culturas a criar teorias sobre o Universo desde a mais remota antigüidade. O interesse pelo céu levou a humanidade a domínios cada vez mais complexos, influenciando nossa relação com o ambiente e reconstruindo nossas bases sobre o que é e como funciona o Universo.

A curiosidade do ser humano pelo Universo tem sido reconhecida e explorada exaustivamente (e até de maneira sensacionalista) pelos meios de comunicação: são muitas as histórias fantásticas com naves espaciais, entes extraterrestres e cientistas estereotipados em astros desconhecidos. Os livros infanto-juvenis são reche-

ados de imagens que personificam os objetos celestes com características espelhadas aos seres humanos: Sol e Lua são representados com sorrisos, olhos e boca; e planetas são dotados de sentimentos (como o de tristeza em eventuais mudanças de categorias).

A "ciência" implícita nessas informações é, boa parte das vezes, incorreta e ilógica. Porém, sendo ela fantástica, cria uma alta expectativa em relação a eventos que pouco ou nada têm a ver com os dados astronômicos reais. São muito freqüentes, em filmes, naves e astronautas sendo "engolidos" por buracos negros ou objetos sendo materializados pela "captação" de energia ou, ainda, duelos ruidosos no espaço galáctico. Em situações dessa natureza, é preciso compreender que esses eventos são característicos de uma pseudociência e, assim, separar o real do fictício.

Isso não significa que seja necessário limitar a criatividade imaginária das pessoas ou censurar filmes de ficção científica e/ou livros infanto-juvenis, mas não é de se estranhar que os professores tenham receio de levar Astronomia para a sala de aula, sentindo-se incapazes de suprir as expectativas tanto suas quanto de seus alunos. Aqueles que se aventuram, apegam-se aos conteúdos dos livros didáticos, uma vez que os conceitos científicos envolvidos nos estudos sobre as estrelas, galáxias, o Universo, ou até mesmo sobre o Sistema Solar são pouco frequentes nos currículos da formação de professor. O livro didático, por sua vez, apresenta, na maioria das vezes, os conteúdos fragmentados, pouco profundos, quando não errôneos e, ainda, insuficientes para as explicações das muitas questões veiculadas pelos meios de comunicação e que povoam o imaginário dos estudantes.

Acima
Visita de turma de escola pública ao Observatório do Valongo.
(Crédito: Daniel Mello)

Na página ao lado
Observatório construído com peças de Lego.
(Crédito: Efraimstochter/Pixabay)

Se, por um lado, as temáticas da astronomia, que sempre nos instigaram ao longo da história da humanidade, ampliando nossa visão de mundo e nos conectando à nossa própria história e cultura, têm múltiplas possibilidades de interfaces com outras áreas do conhecimento, sendo inclusive reconhecidas pelos distintos meios de comunicação, por outro, a escola e a formação de professores de ciências da natu-

Acima
Criança observa Marte ao telescópio. (Crédito: Daniel Mello.)

reza negligenciam a necessidade de se apropriar desse patrimônio da humanidade.

É curioso notar que, ainda que essas temáticas sejam pouco aprofundadas na escola e que os professores tenham pouco conhecimento em astronomia, seus temas quase sempre estiveram presentes nos programas curriculares nacionais e em livros didáticos de ciências naturais e/ou geografia.

No 1800 brasileiro, já se pode encontrar uma série de temáticas da astronomia na educação básica. Uma análise de reformas educacionais brasileiras entre 1850 e 1950 indica que o ensino da astronomia na escola brasileira não ocorreu de forma linear, chegando a existir uma disciplina chamada cosmographia. É interessante notar ainda que temas como “estações do ano”, “dia e noite”, “eclipses” e “latitude ou longitude” são mais presentes. Por outro lado, temas como “observação dos astros no céu”, “caracterização do Sol”, “nebulosas” ou “constelações” nem sempre estão presentes nos programas curriculares no Brasil.

Uma análise do cenário pós LBD/1996 e Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), indica uma maior consolidação da presença da astronomia na Educação Básica. Ela ganha mais espaço tanto em termos de abrangência de temáticas quanto de fase de ensino a que se destina.

Um destaque é preciso ser feito em relação ao Ensino Fundamental 1 (EF1). Os PCNs não indicam temáticas de astronomia para esta fase, mas a quase totalidade dos livros didáticos continua a propor o tema. Além disso, o Pro-

grama Nacional do Livro Didático (PNLD) cita como obrigatória a presença da astronomia nos anos iniciais. Já na educação fundamental II (atual 6º ao 9º ano), a astronomia está presente com grande ênfase nos PCNs, chegando a ser identificada com o eixo temático Terra e Universo, direcionada para uma compreensão histórica do desenvolvimento do conhecimento científico e para uma educação científica que valoriza a observação dos fenômenos da natureza na formulação dos modelos explicativos. No entanto, os livros didáticos desta faixa etária geralmente apresentam a astronomia apenas para o 6º ano e centrada na construção de modelos abstratos sem muita relação com a observação da realidade.

No Ensino Médio (EM), a astronomia também ganha espaço, nos PCN, com o tema estruturador: Universo, Terra e Vida, transcendendo o tradicional conteúdo "Gravitação" sinalizando uma ampliação da visão cosmológica, incluindo o posicionar-se nas escalas de tempo e espaço do Universo sem deixar de apresentar, nos termos do próprio documento:

> *"instrumentos para acompanhar e admirar, por exemplo, as conquistas espaciais, as notícias sobre as novas descobertas do telescópio espacial Hubble, indagar sobre a origem do Universo ou o mundo fascinante das estrelas e as condições para a existência da vida como a entendemos no planeta Terra" (PCN+, 2002, p. 78).*

Novamente, é preciso ressaltar que uma astronomia nesta perspectiva é rara dentre os livros didáticos de física propostos para o EM. Nestes, a astronomia é apresentada geralmente como motivação ou exemplificação para os estudos de outros conteúdos da Física, com exceção dos conteúdos da Gravitação.

Impossível não notar um descompasso entre as proposições dos PCN e as indicações e avaliações feitas pelo PNLD, não apenas no quesito "conteúdo" mas também na abordagem dos temas. Muito embora os PCNs tenham desempenhado um papel importante na proposição da astronomia na educação básica brasileira, seu caráter foi apenas propositivo. Não há obrigatoriedade de as escolas se adequarem às sugestões dos Parâmetros. Dessa forma, nem mesmo as políticas de governo, como o PNLD, tem o compromisso de dialogar com os PCN.

Ao analisar livros didáticos de Ciências e de Física é possível verificar que a astronomia é abordada na maioria dos livros didáticos de Ciências do Ensino Fundamental e em alguns de Física do Ensino Médio. No entanto, seu enfoque, na maioria das coleções, é distante de temas que propõem observação do céu ou, ainda, que objetivam a construção de uma

visão de Universo como indicado pelo PCN.

Em tom normativo, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), prevista desde a Constituição de 1988 (art. 210), deve nortear a construção de currículos de toda a Educação Básica brasileira. A análise deste documento nos permite avaliar uma presença marcante de temáticas da astronomia durante todas as etapas da Educação Básica, ampliando os conteúdos, em relação aos PCN, também para o EF1. A BNCC do Ensino Fundamental está alicerçada por unidades temáticas. No caso de Ciências, são três as unidades temáticas sendo uma delas, "Terra e Universo", proposta do 1º ao 9º ano. Ela abrange temáticas relativas à astronomia que vão desde a observação direta de elementos e fenômenos astronômicos até a composição, estrutura e localização do Sistema Solar no Universo, bem como, do Sol como uma estrela e seu processo evolutivo. Nos anos iniciais, sugere-se maior foco na observação do entorno, do céu e de fenômenos astronômicos, enquanto que para os anos finais, dá-se maior ênfase aos modelos científicos e às articulações entre as observações do céu e os modelos explicativos. Para o Ensino Médio, a área de Ciências da Natureza propõe três competências específicas e uma delas refere-se à temática: "Vida, Terra e Cosmos", na qual a astronomia se faz presente, ampliando-se os saberes construídos no Ensino Fundamen-

Abaixo
Crianças de escola pública de Belo Horizonte apresentam projeto sobre o Sistema Solar durante uma Feira de Ciências em 2012. (Crédito: Prefeitura de Belo Horizonte/Flickr.)

tal, porém com maior ênfase na dinâmica das interações entre os corpos celestes, na modelagem física e matemática dos fenômenos envolvidos e no processo de construção do conhecimento sobre o Universo ao longo da história e das diferentes culturas.

Pode-se dizer que, por meio da BNCC, a astronomia está proposta para toda a Educação Básica brasileira, desde os anos iniciais até o Ensino Médio. Dessa forma, espera-se que essas temáticas também possam estar presentes na formação de futuros professores, de tal forma a ampliar os conhecimentos e as relações estabelecidas com as demais áreas do saber.

Sabemos que o currículo é resultado de um processo constituído de conflitos e disputas entre diferentes tradições e concepções sociais. Apesar de continuidades e rupturas estarem presentes na historicidade da astronomia na Educação Básica brasileira, é possível perceber que a sua permanência e as ênfases dadas a essa área de conhecimento nos últimos anos indica o grande potencial da astronomia na educação, reconhecido por diferentes atores educacionais e também por pesquisadores da área ▪

Cristina Leite
Universidade de São Paulo
crismilk@if.usp.br

Acima
Visita de alunos ao Observatório do Valongo (Crédito: Daniel Mello).

Reflexões sobre como ensinamos as "estações do ano"

Ramachrisna Teixeira[1], Danilo Miranda Rodrigues[1], Letícia Lanza[2],
João Paulo Delicato[1], Messias Fidêncio Neto[1], Michel Paschini Neto[3]

[1] Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG-USP
[2] Instituto de Física, IF-USP
[3] Universidade Metodista, UNIMEP-Piracicaba

I. Estações do ano: algo de novo?

As alternâncias cíclicas de variáveis meteorológicas (temperatura, índice pluviométrico, etc.) e da vegetação, entre outras, facilmente observáveis em muitas regiões da Terra, sempre marcaram a vida do Homem civilizado. Com observações atentas, sistemáticas e cuidadosas, há muito tempo pôde associar esses fenômenos às mudanças de posição do Sol em relação às estrelas, isto é, à posição que ocupa em sua trajetória anual aparente ao redor da Terra (ponto de vista geocêntrico) e, posteriormente, à posição da Terra em seu movimento em torno do Sol (ponto de vista heliocêntrico).

A partir de muitas observações, foi possível compreender e explicar esses fenômenos celestes, inicialmente de um ponto de vista geocêntrico quando nem se suspeitava que a distância Terra-Sol era variável. A explicação fornecida, corretamente, baseava-se na inclinação da trajetória do movimento anual aparente do Sol (eclíptica) em relação ao equador celeste (movimento aparente das estrelas de leste para oeste — rotação). As esferas e os movimentos circulares e uniformes do principal modelo de Universo dos gregos antigos tornavam, entretanto, essa explicação incompleta e imperfeita.

Há pouco mais de 400 anos, a ideia de que a Terra se movimenta no espaço se incorporou ao conhecimento. Apesar da órbita elíptica com o Sol em um de seus focos, o Homem continuou, corretamente, associando essas alternâncias cíclicas observadas na natureza não à variação da distância Terra-Sol, mas sim à inclinação do movimento orbital do nosso planeta (movimento de translação) em relação à sua rotação, além de outros fatores locais ou globais no caso das variáveis meteorológicas.

Apesar do tema estações do ano estar, de maneira recorrente, presente nas aulas de ciências e de geografia, nos respectivos livros didáticos, em livros de Astronomia, em textos acadêmicos voltados para ensino de Astronomia, em um grande número de textos na internet e na mídia em geral, não é raro nos depararmos com problemas relacionados a uma má compreensão desse fenômeno ou a uma simplificação um tanto quanto descuidada em sua abordagem.

Um erro grosseiro, mas felizmente, não mais tão presente, sobretudo no ambiente escolar, é pensar que as variações sazonais do padrão meteorológico e as estações do ano são consequências da maior ou menor aproximação da Terra ao Sol ao longo do ano. Esse erro foi tratado de forma magistral em um texto inspiradíssimo do Prof. Rodolpho Caniato, "Joãozinho da Maré", que pode ser facilmente encontrado.

Por outro lado, embora este erro grosseiro esteja menos presente, existem ainda incorreções, equívocos sutis ou simplesmente abordagens que induzem a erros e que estão se perpe-

tuando.

Dada a importância e a riqueza desse tema de base, convidamos o leitor a refletir sobre a definição das estações do ano, que nos parece confusa, sobre sua causa, em geral muito mal ou erroneamente explicada, suas representações através de figuras que podem induzir a erros e suas durações em geral ignoradas ou abordadas com erros.

II. Estações do ano: o que são?

É muito comum quando tratamos desse tema, pensarmos e falarmos em termos de fenômenos meteorológicos e de paisagem. Embora possamos nos deparar com exceções, investe-se muito pouco no conceito de insolação, na variação de sua intensidade e em alguns outros eventos marcantes associados às estações do ano: duração do dia e da noite, nascer e ocaso do Sol, altura máxima do Sol, etc. Pior ainda, raras vezes nos perguntamos o que são as estações do ano. As estações do ano são as alterações cíclicas das variáveis meteorológicas ou regimes distintos da incidência da radiação solar em nosso planeta?

Fica bastante confuso definirmos ou colocarmos quase que exclusivamente o foco desse tema nas alterações das variáveis meteorológicas, grosseiramente periódicas e dependentes de muitos outros fatores e depois, encaixá-las em intervalos de tempo muito bem definidos, que a Terra gasta para percorrer trechos entre pontos notáveis de sua órbita.

Os intervalos de tempo com padrões meteorológicos relativamente distintos não têm a mesma duração em todas as regiões da Terra, não iniciam e nem terminam em datas precisamente definidas e nem mesmo são necessariamente em número de 4.

Assim, diferentemente dos dias, dos anos, dos solstícios e dos equinócios as alterações das variáveis meteorológicas, embora periódicas, não definem ciclos precisos. Em outras palavras, as estações do ano, digamos, astronômicas, definidas em função dessas 4 posições notáveis que a Terra ocupa em seu movimento orbital (solstícios e equinócios) não coincidem necessariamente com o início e término de um determinado padrão meteorológico. Portanto, a tentativa de encaixar esses padrões em intervalos muito bem definidos por fenômenos naturais, deslocamento da Terra entre solstícios e equinócios, não é possível e nem seguida por todos os povos.

Convenções foram adotadas seguindo a definição astronômica em alguns casos e em outros, voltando-se para o padrão meteorológico local. Temos países onde as estações em número de 4 têm início e fim em datas distintas daquelas que utilizamos no Brasil, não correspondem aos solstícios e equinócios. Em alguns, os solstícios e equinócios são aproximadamente, instantes médios das estações e assim por diante.

Como consequência dessa “indecisão” ou “liberdade” em sua definição acabamos encontrando frases como: há lugares que as estações do ano são mal definidas; as estações do ano estão alteradas; no inverno faz frio e no verão faz calor como se fosse uma regra para todos os lugares. Claro que isso não está errado quando estamos pensando nas variações dos padrões meteorológicos em determinados lugares, mas querer encaixar isso em uma definição astronômica não é possível e gera confusão.

Em resumo, a correspondência entre as estações do ano e as alterações cíclicas das variáveis meteorológicas, mesmo onde essas ocorrem de forma marcante, é grosseira. Assim, apesar de sua grande importância, como o início e a duração de um ciclo com determinado padrão meteorológico é bastante incerto devido ao grande número de variáveis envolvidas, parece-nos fundamental investir em outras direções ou, pelo

menos, também em outras direções. Em particular, o cenário no Brasil ajuda muito pois as estações do ano são definidas, ou pelo menos anunciadas na mídia e nas escolas, do ponto de vista astronômico, iniciam e terminam nos solstícios e equinócios, muito embora, em diferentes regiões as palavras inverno, verão, etc., possam representar condições meteorológicas distintas.

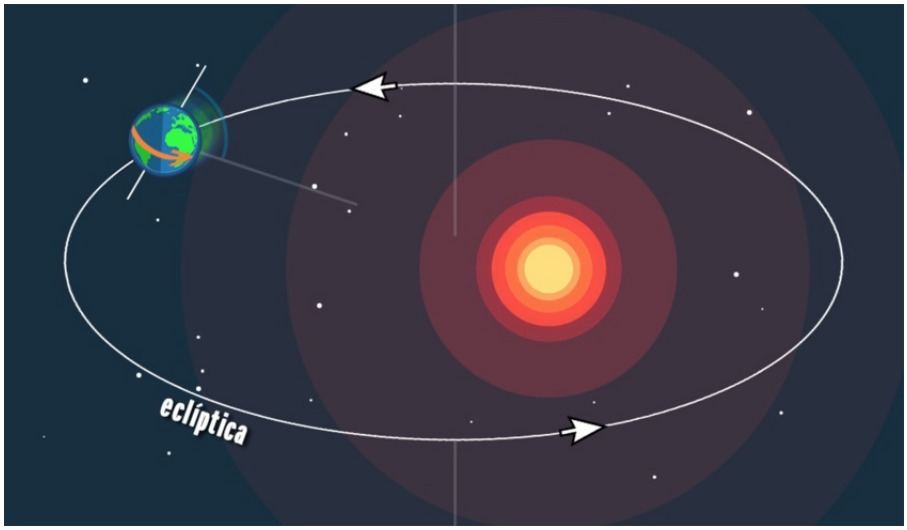


Figura 1 — Representação da Terra em uma posição qualquer de seu movimento orbital, ilustrando a maneira equivocada frequentemente utilizada para explicar as estações do ano: inclinação do eixo de rotação em relação ao plano da eclíptica.

Do ponto de vista astronômico existem quatro estações que correspondem a quatro regimes distintos de insolação pelos quais passa a Terra ao longo de um ano. Em outras palavras, quatro intervalos de tempo, não idênticos, gastos para a Terra percorrer ao longo do ano, de forma intercalada, o trajeto entre dois de quatro pontos notáveis, não únicos, de sua órbita: 2 equinócios e 2 solstícios. Nesses intervalos a diferença de insolação total entre os dois hemisférios da Terra apresenta características distintas (veja abaixo).

Os equinócios e solstícios são pontos notáveis justamente por sinalizarem quando a insolação total nos dois hemisférios da Terra é a mesma (equinócios) e quando a insolação total em um hemisfério é máxima ou mínima (solstícios).

A partir dessa visão, podemos, então, explicar por que a insolação total se altera ao longo do ano, e não será difícil perceber esse ciclo e discutir suas consequências aqui na Terra: alterações nos padrões meteorológicos, na paisagem, na agricultura, na duração do dia e da noite, nos pontos de nascer e ocaso do Sol, na altura máxima que o Sol alcança a cada dia, na configuração do céu noturno, etc. Certamente, no caso do padrão meteorológico, com ênfase deve-se mostrar que depende também, de muitos outros fatores: correntes oceânicas, correntes atmosféricas, latitudes, relevos locais, efeito estufa, etc.

Não se trata aqui de redefinirmos estações do

Definições astronômicas para as estações do ano

Primavera — diferença de insolação total entre os dois hemisférios positiva e crescente. Inicia-se no equinócio dito de Primavera (diferença de insolação zero) e termina no solstício de verão (diferença de insolação máxima);

Verão — diferença de insolação positiva e decrescente. Inicia-se no solstício de verão e termina no equinócio de outono (diferença de insolação zero);

Outono — diferença de insolação negativa e decrescente. Inicia-se no equinócio de outono e termina no solstício de inverno (diferença de insolação mínima);

Inverno — diferença de insolação negativa e crescente. Inicia-se no solstício de inverno e termina no equinócio de primavera.

ano, mas sim de trabalharmos com uma definição que facilite a compreensão daquilo que queremos descrever: *as estações do ano correspondem a quatro períodos de insolação distintos pelos quais passa a Terra ao longo de um ano e são consequência da inclinação entre seus movimentos de rotação e de translação*.

Notemos que desse ponto de vista, em todas as regiões da Terra, teremos quatro estações do ano com datas precisamente definidas para seus inícios e términos. Por outro lado, suas consequências não serão sentidas da mesma maneira em todo lugar e sobretudo, dependerão fortemente da latitude em que nos encontramos.

III. Estações do ano: por que ocorrem?

Outro aspecto, agora relacionado às suas causas e que parece ser uma preocupação grande, principalmente de quem está trabalhando na área de ensino de Astronomia ou escrevendo textos com um cuidado maior do que aquele habitual, é realçar que as estações do ano não dependem da distância Terra–Sol.

Entretanto, muitas vezes encontramos um complemento onde é sugerido que a distância não explica as estações do ano pois a diferença da distância Terra–Sol quando a Terra está no afélio (ponto de maior afastamento entre a Terra e o Sol) e no periélio (ponto de maior aproximação entre a Terra e o Sol) é desprezível. Quando levamos alguém a pensar dessa forma, estamos induzindo-a a acreditar que se essa diferença fosse maior ela explicaria as estações do ano. Claro, isso é um erro induzido pela maneira como negamos a relação distância–estações do ano. Mesmo que a excentricidade da órbita da Terra fosse grande, a causa das diferenças de insolação entre os dois hemisférios ao longo do ano continuaria sendo a inclinação entre a rotação e translação da Terra, muito embora, nesse caso, as consequências pudessem ser muito diferentes do que são.

É a inclinação entre os movimentos de rotação e de translação que define a diferença variável ao longo do ano, de insolação total entre os dois hemisférios da Terra. Uma maior excentricidade alteraria as durações das estações, como veremos mais adiante, e também, a intensidade da insolação nos dois hemisférios, mas não os regimes distintos das diferenças de insolação total entre os dois hemisférios.

Por outro lado, mais importante ainda, é muito comum nos depararmos com a ideia de que a causa das estações do ano, com uma ou outra variante, é a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao plano de sua órbita ou mais simplificadamente, em relação à eclíptica (Figura 1).

A Figura 1 ilustra o que comumente encon-

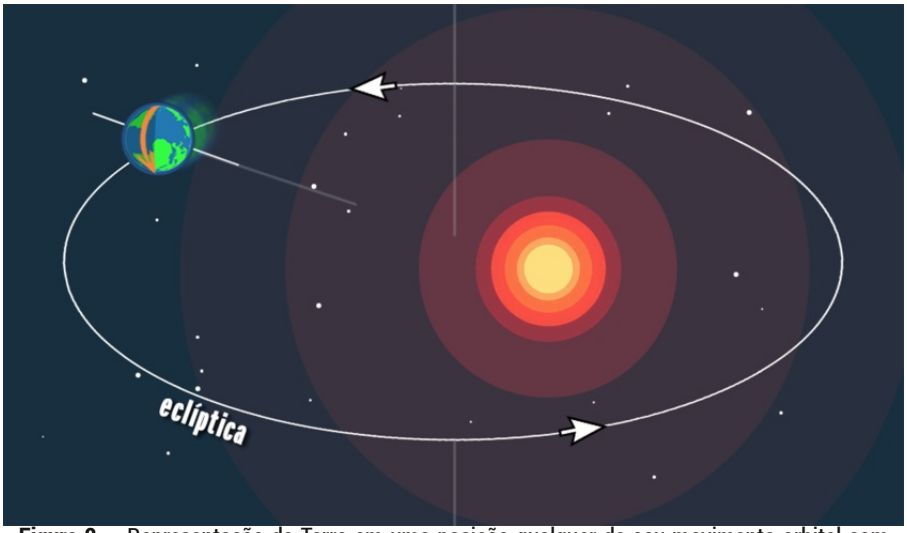


Figura 2 – Representação da Terra em uma posição qualquer de seu movimento orbital com seu eixo de rotação sem inclinação em relação à eclíptica, deixando claro que ao contrário do que a definição equivocada ressaltada acima sugere, neste caso teremos sim estações do ano.

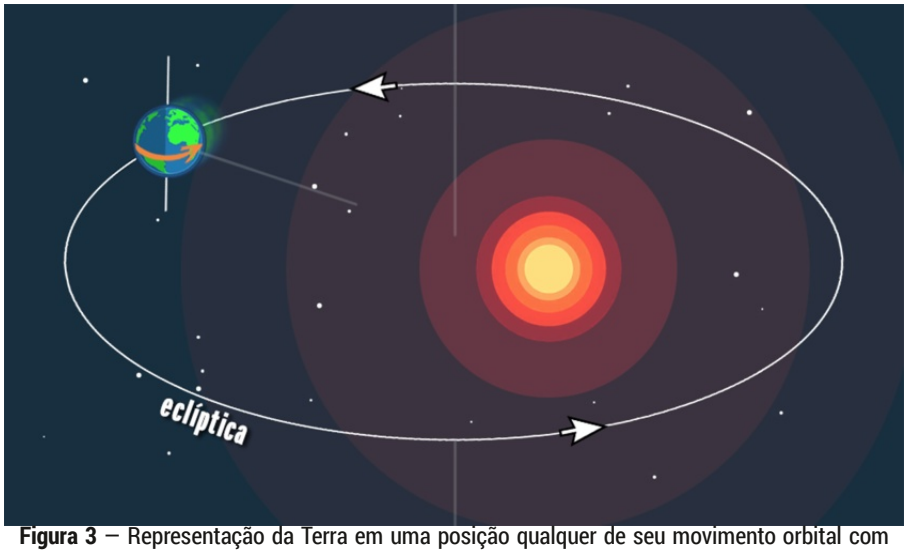


Figura 3 – Representação da Terra em uma posição qualquer de seu movimento orbital com seu eixo de rotação perpendicular à eclíptica, deixando claro que ao contrário do que a definição equivocada ressaltada acima sugere, neste caso não teremos estações do ano.

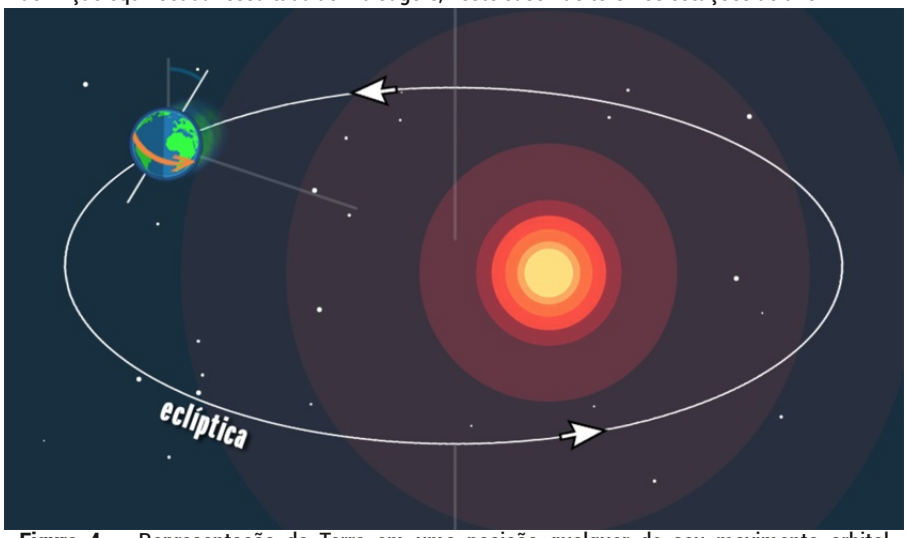


Figura 4 – Representação da Terra em uma posição qualquer de seu movimento orbital assinalando a inclinação de seu eixo de rotação em relação à normal à eclíptica (eixo de translação) como deve ser considerado quando discutimos a causa das estações do ano.

tramos para explicar as estações do ano. Chamamos a atenção para a medida da inclinação do eixo de rotação em relação ao plano da órbita da Terra ao redor do Sol.

Essa e todas as demais figuras utilizadas para ilustrar essas reflexões encontram-se totalmente fora de escala, incluindo a excentricidade da órbita e representam uma visão grosseira do sistema Terra–Sol em perspectiva.

Estando atento, não será difícil perceber que explicar as estações do ano como consequência da inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao plano de sua órbita ao redor do Sol (eclíptica) nos leva às seguintes conclusões:

• Se o eixo de rotação da Terra não estiver inclinado (Figura 2) em relação ao plano da órbita, não teremos estações do ano.

• Se o eixo de rotação da Terra fosse perpendicular ao plano da órbita, portanto a 90° em relação à eclíptica (Figura 3), deveríamos ter estações do ano extremas.

Na realidade, como sabemos, o que ocorre é exatamente o inverso. Se a Terra tivesse seu eixo de rotação no plano da órbita, inclinação nula em relação à eclíptica, como é aproximadamente o caso do planeta Urano, teríamos estações do ano e, neste caso, com diferenças extremas de insolação entre os solstícios de verão e de inverno. Por outro lado, se seu eixo de rotação fosse perpendicular ao plano da órbita, 90° em relação à eclíptica, como é aproximadamente o caso de Júpiter, simplesmente não teríamos estações do ano.

Onde está o "erro"? As estações do ano ocorrem devido à inclinação entre os movimentos de rotação e de translação. Assim, se falamos do eixo de rotação (definido pelo momento angular do movimen-

to de rotação), temos que relacioná-lo com o "eixo da translação" (definido pelo momento angular do movimento orbital da Terra: translação), ou seja, com a direção da normal ao plano da órbita terrestre como ilustrado na Figura 4. Por outro lado, se quisermos falar do plano ou da trajetória do movimento de translação (eclíptica), neste caso, teremos que relacioná-lo com o equador (plano da rotação) e não com o eixo da rotação terrestre. No mínimo, se quisermos manter a relação eixo com plano temos que ser mais cuidadosos e nos expressarmos de outra forma.

Assim, se o eixo de rotação da Terra fosse perpendicular à eclíptica (Figura 3) teríamos que sua inclinação em relação ao "eixo da translação" ou à normal a eclíptica, seria zero. Os planos do equador e da eclíptica coincidiriam. Neste caso, não teríamos, portanto, estações do ano.

Por outro lado, quando o eixo de rotação estiver no plano da eclíptica (Figura 2), significa que equador e eclíptica, ou eixos da rotação e da translação, são perpendiculares entre si, e, portanto, ao contrário do que muitas vezes somos induzidos a pensar, teremos sim estações do ano, com invernos e verões extremos.

Duas maneiras que nos parecem simples e claras de explicar esse fenômeno é dizer: as estações do ano ocorrem devido à não coincidência dos planos da rotação (equador) com o plano da translação (eclíptica) ou devido à não perpendicularidade do eixo de rotação da Terra em relação ao plano de sua órbita (eclíptica).

IV. Estações do ano: representação gráfica

Outro problema sutil que pode ser facilmente encontrado diz respeito à representação do movimento da Terra ao redor do Sol com o intuito de explicar as estações do ano. Trata-se de uma simplificação que induz o leitor a erros,

Uma representação da órbita terrestre circular com o Sol no centro tem a vantagem de diminuir essa "crença" de que as estações do ano ocorrem devido à alteração da distância Terra–Sol. Por este motivo, esse caminho tem sido aconselhado por muitos colegas como mais adequado do ponto de vista didático. O fato de a excentricidade da órbita terrestre ser muito baixa, também reforça a utilização da circunferência.

Entretanto, embora compreendendo essa sugestão, acreditamos que como trabalhamos com a noção de que a órbita da Terra é uma elipse com o Sol em um dos focos, a utilização da elipse para representá-la é mais coerente, nos aproxima da realidade e se torna mais interessante, rica e atraente. Essa figura geométrica é menos comum, deve aguçar a curiosidade, sua construção é mais complexa e deve gerar mais discussões, inclusive a respeito da maneira prática de traçá-la. Além disso, diante da realidade atual das pesquisas em Astronomia, onde já nos

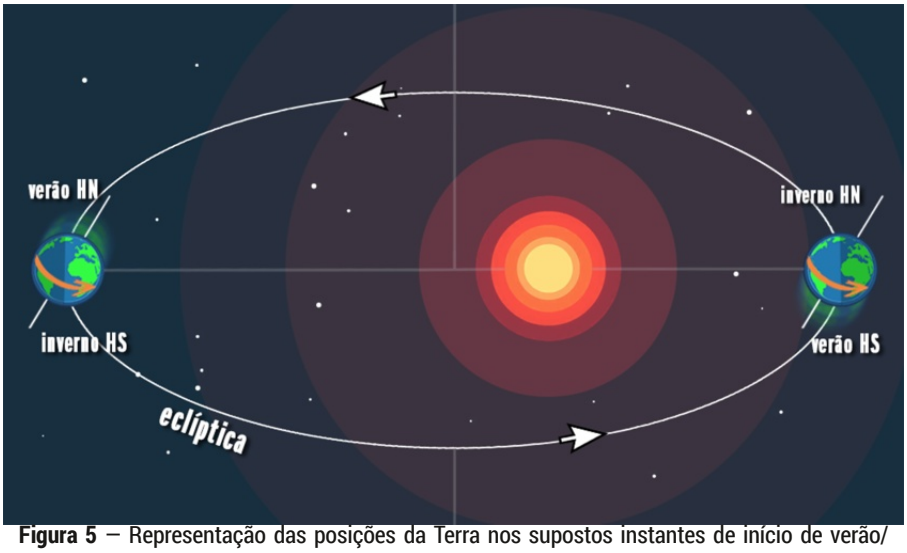


Figura 5 – Representação das posições da Terra nos supostos instantes de início de verão/inverno em determinado hemisfério como assinalado na figura.

deparamos com a descoberta de milhares de exoplanetas e inúmeros outros corpos do Sistema Solar, com órbitas para todos os gostos, talvez seja preferível trabalharmos com uma órbita mais genérica, elipse, do que com um caso particular, circunferência.

Em todo caso, mesmo considerando a órbita da Terra ao redor do Sol como circular, na representação em perspectiva o que se vê é uma elipse. Assim, de uma forma ou de outra, encontrarmos uma elipse representando a órbita da Terra com o Sol em um dos focos, e nesses casos, o problema é que quase sempre a Terra no início do verão e do inverno encontra-se posicionada nos vértices da elipse, o que coincide com a maior ou menor aproximação Terra–Sol (Figura 5). Note como esta figura induz um leitor menos atento a associar verão/inverno com a distância Terra-Sol. Certamente, o Sol no centro seria uma solução, a nosso ver menos adequada e em todo caso não única, para esse problema.

Portanto, dessa forma, além de induzir o leitor descuidado ao erro de associar esses instantes à distância Terra-Sol, perde-se uma boa ocasião de se aproximar da realidade. O verão no hemisfério sul, por exemplo, tem início por volta do dia 21 de dezembro enquanto que a Terra passa pelo periélio em 4 de janeiro. Como consequência, nos aproximaremos mais da realidade com uma representação como sugerida na Figura 6. Essa figura tem ainda a vantagem de fugir do que se espera levando assim a questionamentos. Como se pode ver, a Terra é mostrada em algumas posições ao longo de sua órbita (pontos notáveis — solstícios e equinócios), diferentes daquelas, usualmente utilizadas, que correspondem grosseiramente ao início das estações como indicado. Nessa representação, a Terra encontra-se exagerada e intencionalmente fora dos vértices. Esses pontos correspondem, como assinalado, à posição da Terra nas datas aproximadas dos inícios de cada estação para 2019.

É também interessante sempre assinalar nessas figuras o início das estações nos dois hemisférios de tal forma que o leitor perceba algo de diferente do que esperaria encontrar. Em outras palavras, seria informado, uma vez mais, que quando é inverno em um hemisfério temos verão no outro e vice-versa. Um tom mais claro na porção da Terra voltada para o Sol, ajuda a percepção das diferentes intensidades de insolação em cada hemisfério ao longo das estações.

V. Todas elas têm a mesma duração?

As estações do ano do ponto de vista astronômico iniciam-se em "pontos notáveis" da órbita terrestre: nos equinócios e solstícios. Como o módulo da velocidade da translação da Terra é variável, maior no periélio e menor no afélio, o intervalo de tempo entre esses eventos não é o mesmo. Por exemplo, a Terra levará um tempo menor para percorrer o trecho entre o solstício de verão e equinócio de outono para o hemisfério sul (trecho mais próximo ao periélio) do que entre o solstício de inverno ao equinócio de primavera, trecho mais próximo ao afélio (Figura 6). Em resumo, para o hemisfério sul, o intervalo de tempo gasto entre o equinócio de primavera e de outono, trecho que contém o solstício de verão e o periélio, é menor que aquele entre o equinócio de outono e de primavera, trecho que contém o solstício de inverno e o afélio. Ou seja, as durações do outono e inverno são maiores que aquelas da primavera e verão no caso do hemisfério sul. Naturalmente, para habitantes do hemisfério norte temos o inverso.

Assim, embora a variação da distância Terra-Sol não explique as estações do ano, ela as influencia definindo, por exemplo, suas durações.

Ainda com relação ao início das estações cabe outra reflexão quase nunca explorada, mas muito presente nos pensamentos e nas indagações

de alunos, professores e público em geral: por que, por exemplo, o solstício de verão define o início dessa estação e não o seu, digamos, ponto médio? Ou, desprezando-se as pequenas diferenças nas durações das estações, o que difere a primavera do verão?

Como foi dito, o início das estações do ano na sociedade civil é uma convenção e cada sociedade pode ter a sua. Em Astronomia, é diferente e não depende do país ou do povo. Assim, embora do ponto de vista da diferença da intensidade total de insolação em ambos hemisférios a primavera e o verão sejam praticamente simétricos, do ponto de vista dos movimentos e de suas consequências não são. Por exemplo, durante a primavera em um certo hemisfério a insolação é crescente atingindo um máximo no solstício de verão. Já no verão, a insolação é decrescente. Onde as alternâncias das variáveis meteorológicas acompanham mais de perto as estações do ano, o verão será mais quente que a primavera pois inicia-se depois de um período onde o respectivo hemisfério já foi mais aquecido por uma incidência da radiação solar crescente.

Os instantes em que se iniciam as estações são em geral ignorados, mas não pela mídia. Isso é uma pena, pois discuti-los nos leva a falar da diferença entre ano civil e ano das estações. Temos um tema riquíssimo nas mãos e em geral esquecido, inclusive do ponto de vista cultural e histórico, como consequência de seu vínculo com muitas datas festivas e religiosas que ainda comemoramos.

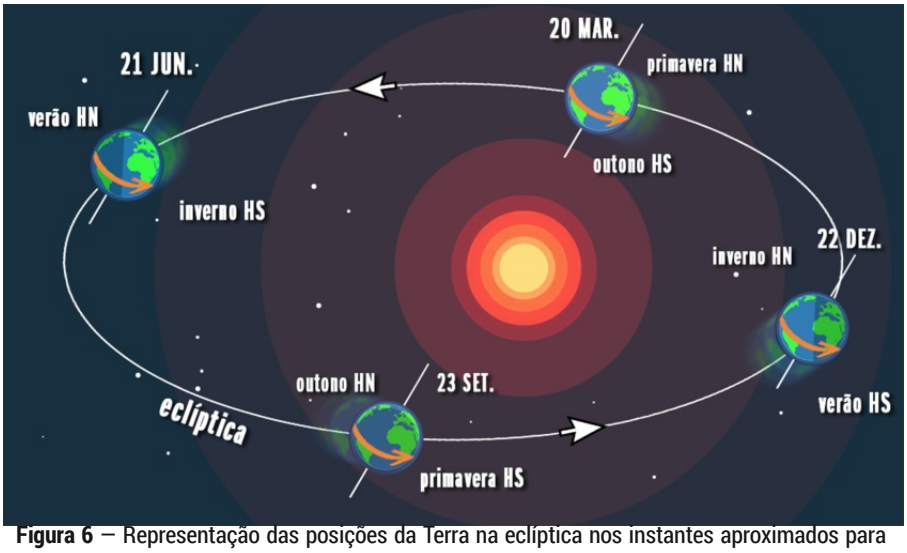


Figura 6 – Representação das posições da Terra na eclíptica nos instantes aproximados para 2019 do início das estações do ano: solstícios e equinócios.

Como sabemos, de um ano para o outro, o instante de início e/ou término de uma determinada estação varia de pouco menos de 6 horas. Isso se deve ao fato de que o ano das estações, ligado ao Sol, tem aproximadamente 365 dias e 6 horas, enquanto que o ano civil (ano do calendário), convencional, tem apenas 365 dias e mais ou menos a cada 4 anos 366 dias (ano bissexto). Assim, um ano civil normal irá começar aproximadamente 6 horas antes do ano das estações, isso significa que os instantes de início das estações ocorrerão aproximadamente 6 horas mais tarde que no ano anterior. A cada quatro anos, essa defasagem é compensada com a introdução de mais um dia no calendário.

Início e duração das próximas estações do ano

Outono: 20 de março de 2019, às 18:58	(92,7 dias)
Inverno: 21 de junho de 2019, às 12:54	(93,7 dias)
Primavera: 23 de setembro de 2019, às 04:50	(89,8 dias)
Verão: 22 de dezembro de 2019, às 01:19	(89,0 dias)

VI. Finalmente...

Chamamos a atenção e discutimos alguns aspectos relacionados com a definição, explicação e a caracte-

rização das estações do ano. São aspectos que trazem consigo incorreções que se tornam mais relevantes tendo em vista a frequência com que aparecem. De maneira mais geral, essas considerações devem nos alertar e nos levar a refletir sobre as diferenças ou sobre a fidelidade entre o conhecimento científico e aquilo que circula.

As estações do ano constituem um tema bastante rico que pode e deve ser abordado e explorado de forma mais cuidadosa e demorada do que aquela que temos visto. Sua boa compreensão está ao alcance de todos. Incorreções como essas em muitos outros domínios podem existir também, e neste sentido deixamos o alerta para que estejamos sempre atentos mesmo quando o tema abordado seja "muito bem conhecido". ▪

Agradecemos ao Divulgador e Youtuber Schwarza do canal Poligonautas pelas figuras e aos Professores Drs. Mauro Carlos Romanatto e Roberto Boczko pelas sugestões e encorajamento.

Conheça a SAB

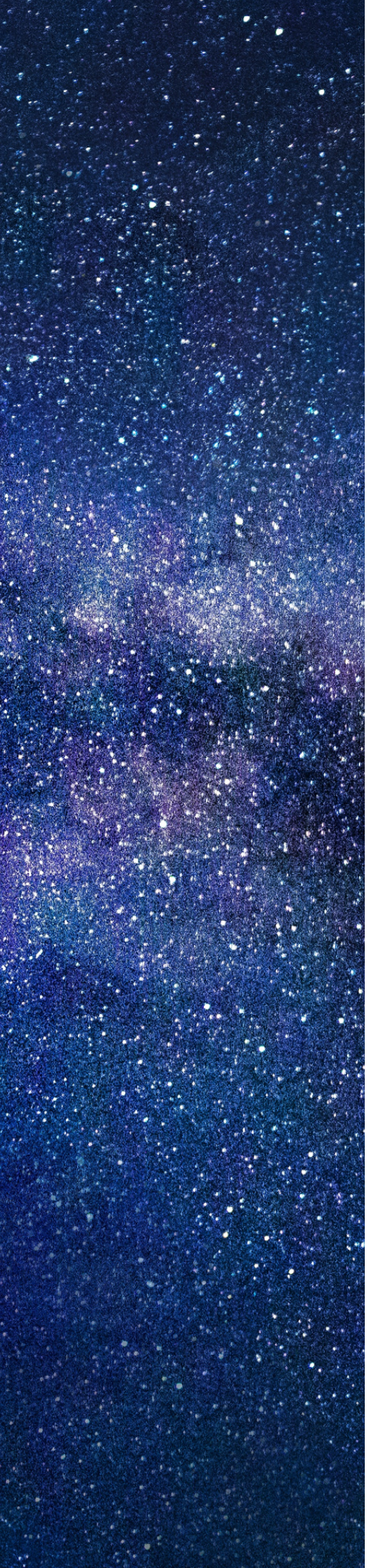
A Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) foi fundada em 1974 pela comunidade de astrônomos brasileiros e desde então tem promovido reuniões anuais para discussões de trabalhos científicos, além da promoção de simpósios, reuniões de trabalho e servir de contato com os órgãos vinculados à pesquisa no país.

Historicamente, a atividade de pesquisa em astronomia no Brasil teve início bem antes da fundação da SAB, ainda no século passado com a criação do Observatório Nacional (ON), através de um decreto de D. Pedro I em 15 de outubro de 1827 no estado do Rio de Janeiro. Em São Paulo, a atividade astronômica remonta ao início deste século e teve prosseguimento com a instalação, no fim da década de 30, do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG), atualmente intitulado Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Ainda hoje, estas duas instituições congregam o maior número de astrônomos titulados em atividade no país (aproximadamente 60%). O restante da comunidade está distribuída em algumas Universidades: UFRGS, UFSM, UFSC, UFMG, UFRJ e UERJ, UFES, UEFS, UESC, UFRN, em Porto Alegre, Santa Maria, Florianópolis, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Vitória, Feira de Santana, Ilhéus e Natal, respectivamente, e em outros órgãos federais: INPE, ITA e LNA.

Desde o final da década de 60, a pesquisa em astronomia no Brasil experimentou um grande desenvolvimento graças ao retorno de jovens doutores recém-formados no exterior ao nosso país, que a partir de então iniciaram a formação de uma nova geração de astrônomos com estudantes formados pelos vários departamentos de Física, existentes nas universidades. Esta nova fase da astronomia brasileira é marcada por um grande salto tecnológico provocado pela entrada em operação de vários telescópios de pequeno porte, do radiotelescópio de Itapetinga e posteriormente pelo telescópio óptico nacional de 1.6 m. Em consequência as pesquisas astronômicas que antes eram predominantemente teóricas passaram a ter um caráter mais observacional, sendo baseadas em dados diretamente obtidos pelos nossos pesquisadores.

Podemos estimar que cerca de 70% dos nossos astrônomos ativos foram formados nesta fase, que inclui também o processo de implantação de uma estrutura de pós-graduação em astronomia. Normalmente, a política adotada para a formação deste pessoal consiste ainda hoje, em dar uma formação básica, a nível de mestrado e doutoramento, e posteriormente enviá-los a centros importantes no exterior para complementar a sua formação acadêmica e de pesquisa. Atualmente, a formação de mestres e doutores no país está concentrada no IAG/USP, ON, INPE, UFRGS, UFMG, UFRJ, UFRN e em outras instituições federais de ensino e pesquisa no país.

Quase todos os doutores em astronomia existentes no Brasil tiveram a oportunidade de estagiar durante pelo menos 2 anos em observatórios europeus ou americanos. Desta forma, é possível contar no país com pesquisadores bastante qualificados, com inúmeras publicações em revistas internacionais com arbitragem. Um bom indicador do nível dos nossos pesquisadores está no fato de que vários dos nossos astrônomos têm conseguido ver os seus projetos aprovados em observatórios europeus e americanos, onde o regime de competição é bastante elevado. Além disso, vários astrônomos brasileiros têm mantido projetos em colaboração com pesquisadores no exterior garantindo assim um contato permanente com centros mais avançados.



Associe-se à SAB

A SAB aceita candidaturas não só de profissionais que trabalhem com Astronomia e que tenham concluído a graduação, mas também alunos de ensino médio, graduação e astrônomos amadores. Há duas modalidades de associados da SAB: os individuais e os institucionais

Individuais

Aspirante: Bacharéis ou estudantes de mestrado em cursos relacionados à Astronomia.

Efetivo: Estudantes de doutorado e pesquisadores doutores em áreas relacionadas à Astronomia.

Júnior: Estudantes de nível médio ou estudantes universitários.

Astrônomo Amador: Aqueles que atuam na área de Astronomia do ponto de vista amador ou que mantenham colaboração com pesquisadores na área de Astronomia.

Institucionais

Para Institutos de pesquisa e universidades.

Como se associar

Visite https://sab-astro.org.br/associacao/adesao/

Esquerda e página anterior
Detalhe da Via Láctea. Crédito: O12/Pixabay

Contracapa
Crédito: Heiko Otto/Unsplash

XLIII REUNIÃO ANUAL DA

SOCIEDADE ASTRONÔMICA BRASILEIRA

9 A 12 DE SETEMBRO

Submissão de resumos e solicitação de auxílio:
3 de abril a 31 de maio

Local: CDI - USP
Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 222
Butantã, Cidade Universitária
São Paulo, SP 05508-020

Para mais informações, acesse:
www.sab-astro.org.br

Realização:

S.A.B
Sociedade Astronômica Brasileira

Patrocinadores:

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

FAPERJ
Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

FAPESP

FAPEMIG

65 anos CAPES

KEYNOTE SPEAKERS

ADRIANA VALIO
CRAAM/Mackenzie University
"The Impact of Stellar Activity on Orbiting Planets"

CHRIS SNEDEN
University of Texas
"Chemical Compositions of Low Metallicity Stars: Fe-group and Neutron-Capture Elements"

JAMES BINNEY
Oxford University
"Modelling our Galaxy with Gaia data"

MARTA VOLONTERI
Institut d'Astrophysique de Paris
"The Evolution of Massive Black Holes in Galaxies"

RICHARD ELLIS
University College London
"Early Galaxy Formation"

STEPHANIE SLATER
Center for Astronomy & Physics Education Research
"Astronomy Education: A Global Development Perspective"

TIM HECKMAN
Johns Hopkins University
"Feedback and the Evolution of Galaxies"

XAVIER BARCONS
European Southern Observatory
"The ESO Programme"

S.A.B.
Sociedade Astronômica Brasileira